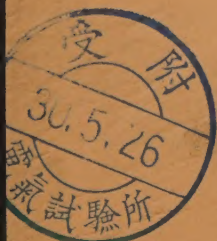


日 本 大 學
工 學 研 究 所 彙 報

第 10 號

目 次	頁
Reflex-Klystron 増幅器の出力 impedance の特性と増幅度との関係	
石 井 好 隆	1
対地速度計に就いて	
抜 山 大 三	8
塑性変形の研究 (I)	
抜山大三・小沢 実	10
燃焼ガスの粘性係数, 熱伝導率, 及びプラトル数について	
斉 間 厚	17
スルフォン置換法によるクレゾール異性体の分離に関する研究	
穴 沢 一 郎	25
温泉の地球化学的研究	
益子安・山本純子・佐藤幸二・細谷昇	34
山茶花の生薬学的研究	
小 林 芳 雄	39
鎮痛効果検定装置の基礎的研究	
小沢 光・新村宗敏	42

昭和 30 年 3 月



U. of ILL. LIBRARY
AUG 7 1972
CHICAGO CIRCLE

JOURNAL OF THE RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY,
NIHON UNIVERSITY.

No. 10 March, 1955

CONTENTS

	Page
Relation between the Characteristics of the Load-Impedance of the Reflex-Klystron Amplifier and its Amplification..By Koryu ISHII...	1
A Meter for Measuring Velocity Relative to EarthBy Daizo NUKIYAMA...	8
On Plastic Deformation due to Tensile LoadsBy Daizo NUKIYAMA and Minoru OZAWA ...	10
Viscosity, Thermal Conductivity and Prandtl Number of Combustion Gases of Coal..... By Atsushi SAIMA...	17
The Separation of the Isomeric Cresols, by the Cresol Sulfonic Acids... By Ichiro ANAZAWA...	25
A Geochemical Study on the Hot Spring (Report 1, Nikko Yumoto Spa)By Yasushi MASHIKO, Sumiko YAMAMOTO, Koji SATO and Noboru HOSOYA...	34
Eine pharmakognosische Studie von der einen Blatendroge "Shan-cha- hua"..... Von Yoshio KOBAYASHI...	39
Fundamental Studies on Analgesimetrie based on Electrical StimulationBy Hikaru OZAWA and Munetoshi NIIMURA...	41

These publications are issued at irregular intervals. The authors alone are responsible for the contents of these reports.

Reflex-Klystron 増幅器の出力 impedance の特性と増幅度との関係

(1954 年 10 月 23 日受理)

石 井 好 隆

Relation between the Characteristics of the Load-Impedance of the Reflex-Klystron Amplifier and its Amplification

By Koryu ISHII

Microwave amplification of the Reflex Klystron amplifier depends upon the characteristics of the load impedance. In order to obtain relatively high amplification in the relatively higher power level, the conductance of the load impedance should be decreased with increasing input power.

The author has found that the power-impedance characteristics of the load of the Reflex Klystron amplifier depend upon the relative position between the amplifier-tube and the crystal detector of the load. Figs. 4 and 5 show these relations experimentally, and by Eqs. (1) through (10) they are theoretically represented.

The relation between such load-characteristics and amplifications are discussed theoretically in Section 4; and Fig. 6 shows the experimental result. In this figure, it is to be remarked that, in the case of E, the amplification does not fall but rises with increasing input power level. And it has been verified by the experiment that suitable choice of the tube position gives desirable amplification characteristics.

1. 緒 言

Reflex-Klystron を用いて極超短波増幅を行う場合、その増幅度は、負荷の impedance に依つて左右され、比較的高電力 level で有効な増幅度を得るためには、負荷抵抗は電力 level の上昇と共に増加させねばならぬ事が理論的に既に指摘されている。

筆者は、Reflex-Klystron 増幅器の電力 level 対出力 impedance 特性は、負荷の鉾石検波器と増幅管の相対的位置に依つて非常に異なる事を知つたので、この負荷 impedance の特性と、増幅度との関係を理論および実験の両方から検討して見た。

Reflex-Klystron に依る増幅は、筆者の実験では現在 2 k 25 及び 723 A/B を用いて、9760 MC で 30 db,

挿入損失約 7 db を記録しているが、本論文では主題をなるべく正確に測定し究めるため、周波数は 2612 MC に於て実験を行つた。

1. 電力 level 対負荷 impedance 特性と増幅管の双対的位置

第1図は Reflex-Klystron 増幅器の実際の回路 (a) 及びその等価回路 (b) である。Screw-Tuner S_1 , S_2 , 及び S_3 に対しては、並列 impedance Z_1 , Z_2 及び Z_3 しか考えていないが、実際に使用した Screw-Tuner の直径が 3 mm であるのに対し、管内波長は 140 mm であるので、直列 impedance は省略した。

この場合、Reflex-Klystron の間隙から見た出力回路の impedance は

$$\dot{Z}_g = \frac{\dot{Z}_{ig}\dot{Z}_{shg}\{2\dot{Z}_{st} + \dot{Z}_{shl}\}\dot{Z}_{mnl} + 2\dot{Z}_{st}\dot{Z}_{shl}}{\{\dot{Z}_{ig}\dot{Z}_{shg} + (2\dot{Z}_{st} + \dot{Z}_{shl})(\dot{Z}_{ig} + \dot{Z}_{shg})\}\dot{Z}_{mnl} + \{2(\dot{Z}_{ig} + \dot{Z}_{shg})\dot{Z}_{st} + \dot{Z}_{ig}\dot{Z}_{shg}\}\dot{Z}_{shl}} \quad (1)$$

ここで、

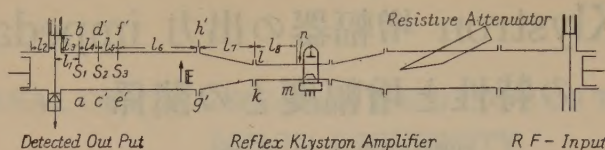
\dot{Z}_g : Reflex-Klystron 増幅管の間隙から外部回路を見

た impedance.

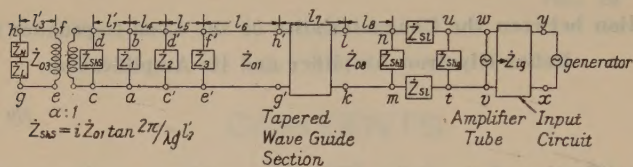
\dot{Z}_{ig} : 増幅管の間隙から Generator 側を見た入力 im-

* 日本大学工学部電気工学科

1) 岡部・石井「入力電力と共に増加する極超短波 impedance.」1953 年 6 月 23 日、電気通信学会・マイクロ波測定研究専門委員会資料。



(a) Actual Circuit of the Reflex Klystron Amplifier



(b) Equivalent Circuit of the Reflex Klystron Amplifier

第1図 Reflex-Klystron 増幅器の回路図

pedance.

Z_{shg} : Mesh 間隙に依る並列 impedance.

Z_{st} : 負荷の方へ向う縦方向の電流に対する直列 impedance.

Z_{shl} : 増幅管挿入位置近傍の電磁界の擾乱に依る 横方向の電流に対する並列 impedance.

Z_{mnl} : 第1図の mn 点より負荷側を見た impedance で、ここから正常な dominant mode の電磁界が存在するような点を mn 端子と定めた。

実際問題として、 Z_{tg} , Z_{shg} , Z_{st} 及び Z_{shl} を正確に計算することは相当困難であるので、 Z_{mnl} を理論的に検討してみる。

これは周知の伝送線路の公式に依り、

$$\dot{Z}_{mnl} = \dot{Z}_{os} \frac{\dot{Z}_{kl} + i\dot{Z}_{os} \tan \beta_s l_s}{\dot{Z}_{os} + i\dot{Z}_{kl} \tan \beta_s l_s} \quad (2)$$

となる。ここで、

\dot{Z}_{os} : 第1図に於ける導波管 $klmn$ 部分の電圧電流を基礎とした Integrated Characteristic Impedance.

l_s : 第1図に示す導波管の長さ。

β_s : 上記導波管の位相常数で管内波長を λ_g とすれば $2\pi/\lambda_g$ に等しい。

\dot{Z}_{kl} : 第1図に示す Tapered Wave Guide の joint kl 端子より負荷側を見た入力 impedance.

であり、これは次式で与えられる。

$$\dot{Z}_{kl} = -i\dot{Z}_{os} \frac{F_1^0(\sigma_\rho \rho_1)}{F_0^0(\sigma_\rho \rho_1)}$$

但し、

$$\frac{F_1^0(\sigma_\rho \rho_1)}{F_0^0(\sigma_\rho \rho_1)} = \frac{\{Y_0(\sigma_\rho \rho_2)J_1(\sigma_\rho \rho_1) - J_0(\sigma_\rho \rho_2)Y_1(\sigma_\rho \rho_1)\} + i\frac{\dot{Z}_{01}}{\dot{Z}_{g'h'l}}\{Y_1(\sigma_\rho \rho_2)J_1(\sigma_\rho \rho_1) - J_1(\sigma_\rho \rho_2)Y_1(\sigma_\rho \rho_1)\}}{Y_0(\sigma_\rho \rho_2)J_0(\sigma_\rho \rho_1) - J_0(\sigma_\rho \rho_2)Y_0(\sigma_\rho \rho_1) + i\frac{\dot{Z}_{01}}{\dot{Z}_{g'h'l}}\{Y_1(\sigma_\rho \rho_2)J_0(\sigma_\rho \rho_1) - J_1(\sigma_\rho \rho_2)Y_0(\sigma_\rho \rho_1)\}} \quad (3)$$

また、

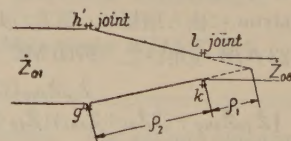
\dot{Z}_{01} : 第1図に於ける Tapered Waveguide の joint, $g'h'$ から負荷側の電圧電流に基づいた導波管の Integrated Characteristic Impedance.

$\dot{Z}_{g'h'l}$: 上記の joint から負荷側を見た入力 impedance.

$$\sigma_\rho = \beta_s = 2\pi/\lambda_g \quad (4)^3)$$

で、この場合、Tapered Waveguide の位相常数に等

しい。



第2図 ρ_1, ρ_2 の定義を示す

ρ_1, ρ_2 : 第2図に示す様な Tapered Waveguide の

2) 附録参照.

3) 附録参照.

寸法.

$J_n, Y_n, n=0, 1, \dots$: Bessel 函数

である.

第1図に於て $l_1=l_4=l_5=\lambda_g/4$

$$l_6=\lambda_g/2$$

(5)

とすれば上記の $\dot{Z}_{g'h'}$ は

$$\dot{Z}_{g'h'}=\dot{Z}_3 \frac{(\dot{Z}_1\dot{Z}_2+\dot{Z}_{01}^2)\dot{Z}_{iab}+\dot{Z}_1\dot{Z}_{01}^2}{(\dot{Z}_1\dot{Z}_2+\dot{Z}_2\dot{Z}_3+\dot{Z}_{01}^2)\dot{Z}_{iab}+\dot{Z}_1(\dot{Z}_2\dot{Z}_3+\dot{Z}_{01}^2)} \quad (6)$$

となる. ここで, \dot{Z}_{iab} は, 第1図 ab 端子から負荷側を見た入力 impedance である. 但し \dot{Z}_1 は含んでいない.

そしてこれは $l_1=\lambda_g/4$ とすれば

$$\dot{Z}_{iab}=\dot{Z}_{01}\left\{\frac{\alpha^2\dot{Z}_{01}\{\dot{Z}_{03}+i(\dot{Z}_N+\dot{Z}_L)\tan\beta_3l_3'\}}{\dot{Z}_{03}\{\dot{Z}_N+\dot{Z}_L+i\dot{Z}_{03}\tan\beta_3l_3'\}}-i\frac{1}{\tan\beta_1l_2'}\right\} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\dot{Z}_{03}}{\alpha^2}\right)\frac{\dot{Z}_{03}-i(\dot{Z}_N+\dot{Z}_L)^*\tan\beta_3l_3'}{(\dot{Z}_N+\dot{Z}_L)^*-i\dot{Z}_{03}\tan\beta_3l_3'} \\ & = \frac{i\dot{Z}_{01}^2\{(\dot{Z}_2\dot{Z}_3+\dot{Z}_1\dot{Z}_2+\dot{Z}_{01}^2)\dot{Z}_{g'h'}+\dot{Z}_1(\dot{Z}_2+\dot{Z}_{01}^2)\dot{Z}_3\}\tan\beta_1l_2'}{\{i\dot{Z}_1(\dot{Z}_2\dot{Z}_3+\dot{Z}_{01}^2)\tan\beta_1l_2'+\dot{Z}_{01}(\dot{Z}_2\dot{Z}_3+\dot{Z}_1\dot{Z}_2+\dot{Z}_{01}^2)\}\dot{Z}_{g'h'}+\{i\dot{Z}_{01}\dot{Z}_1\dot{Z}_3\tan\beta_1l_2'+(\dot{Z}_1\dot{Z}_2+\dot{Z}_{01}^2)\dot{Z}_3\}\dot{Z}_{01}} \end{aligned} \quad (8)$$

ここで, $(\dot{Z}_N+\dot{Z}_L)^*$ は $(\dot{Z}_N+\dot{Z}_L)$ の Conjugate Impedance で, $\dot{Z}_{g'h'}$ は第1図の joint, $g'h'$ から generator

$$\dot{Z}_{g'h'}=i\dot{Z}_{01}\frac{\dot{Z}_{klg}\{Y_0(\sigma_p\rho_1)J_1(\sigma_p\rho_2)-J_0(\sigma_p\rho_1)Y_1(\sigma_p\rho_2)\}-i\dot{Z}_{03}\{Y_1(\sigma_p\rho_1)J_1(\sigma_p\rho_2)-J_1(\sigma_p\rho_1)Y_1(\sigma_p\rho_2)\}}{\dot{Z}_{klg}\{Y_0(\sigma_p\rho_1)J_0(\sigma_p\rho_2)-J_0(\sigma_p\rho_1)Y_0(\sigma_p\rho_2)\}-i\dot{Z}_{03}\{Y_1(\sigma_p\rho_1)J_0(\sigma_p\rho_2)-J_1(\sigma_p\rho_1)Y_0(\sigma_p\rho_2)\}} \quad (9)$$

となるが, \dot{Z}_{klg} は, 第1図の kl 端子から, generator 側を見た impedance でこれは

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{klg} &= \dot{Z}_{03} \frac{\dot{Z}_{shl}\{(2\dot{Z}_{sl}+\dot{Z}_{shg})\dot{Z}_e\dot{Z}_{ig}+2\dot{Z}_{sl}(\dot{Z}_e+\dot{Z}_{ig})\cdot\dot{Z}_{shg}\}}{\dot{Z}_{03}\{(\dot{Z}_{shl}+\dot{Z}_{shg}+2\dot{Z}_{sl})\dot{Z}_e\dot{Z}_{ig}+(\dot{Z}_{shl}+2\dot{Z}_{sl})(\dot{Z}_e+\dot{Z}_{ig})\dot{Z}_{shg}\}} \\ & \quad + i\dot{Z}_{03}\{(\dot{Z}_{shl}+\dot{Z}_{shg}+2\dot{Z}_{sl})\dot{Z}_e\dot{Z}_{ig}+(\dot{Z}_{shl}+2\dot{Z}_{sl})(\dot{Z}_e+\dot{Z}_{ig})\dot{Z}_{shg}\}\tan\beta_3l_3 \\ & \quad + i\dot{Z}_{shl}\{(2\dot{Z}_{sl}+\dot{Z}_{shg})\dot{Z}_e\dot{Z}_{ig}+2\dot{Z}_{sl}\dot{Z}_{shg}(\dot{Z}_e+\dot{Z}_{ig})\}\tan\beta_3l_3 \end{aligned} \quad (10)$$

ここで \dot{Z}_e は, 増幅真空管の電子 impedance である.

上記の計算結果から明らかな様に, \dot{Z}_N が入力電力の函数であるので, 何等かの自動制御方法を用いない限り, すべての電力 level にわたって, 最良の整合を得ることは困難である.

3. 負荷 impedance の伝送線路上に於ける相対的位置と電力 level に対する実験結果

第3図の I は負荷 impedance を測定する実験に用いた回路の図である. 実験は, 次の様にして行つた.

1) Reflex-Klystron JP-703 を 2612MC で発振させ, これを 1000~/sec で振幅変調して, 第3図の導波管内に送り込む.

2) 第3図の S_1, S_2, S_3, P_1, P_2 , 及び VR を調整して中位の電力 level で検波した低周波信号電圧が最大

ここで

α : 導波管から同軸回路への電圧変成比.

\dot{Z}_{03} : 第1図の同軸線路の特性 impedance.

\dot{Z}_N : 鉱石検波器負荷の非直線 impedance.

\dot{Z}_L : 負荷 impedance の直線 impedance 分.

β_1, β_3 : 導波管の位相常数 $2\pi/\lambda_g$ 及び, 同軸線路の位相常数.

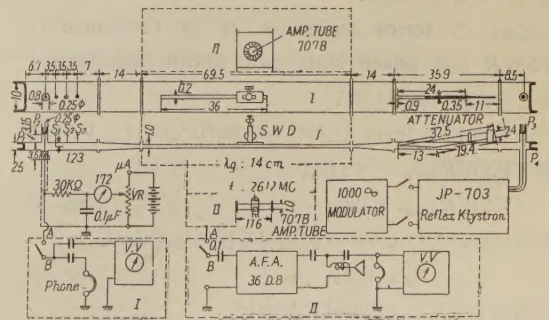
l_2', l_3' : 第1図 (a) の l_2, l_3 にそれぞれ対応する線路の長さ.

である. 故に, \dot{Z}_N が入力電力の函数であるならば, 第(1)式の \dot{Z}_g もまた入力電力の函数となる. そして, 最良の整合を得る為には, $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, l_2', l_3'$ は次の条件を満足せねばならぬ.

すなわち,

側を見た impedance である. そしてこれは,

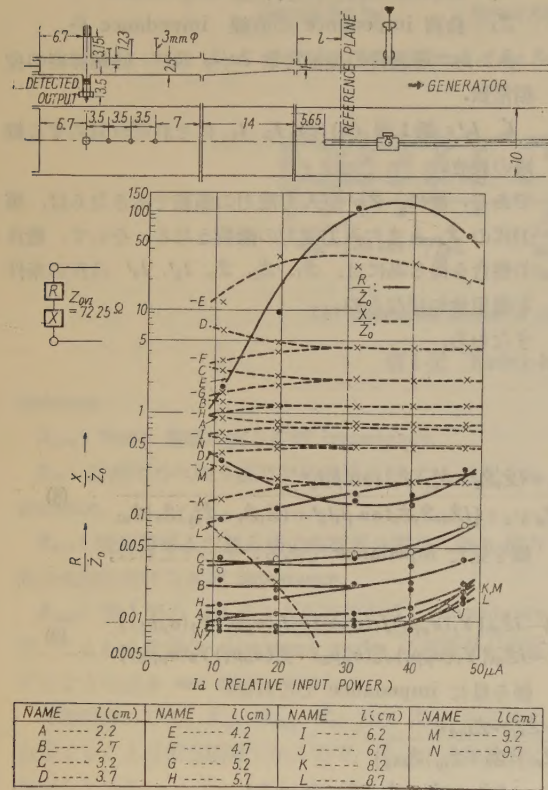
3) 変調を止めて, 定在波測定器 S. W. D で種々な電力 level に付き入力 impedance \dot{Z}_{min} を測定する.



第3図 I: Impedance 測定実験用回路

II: Microwave 増幅実験用回路

第(2)式より第(8)式に至る一連の方程式に依れば、 Z_{mnl} は、線路長 l_8 と入力電力との函数であつて、この関係を実験的に調べたのが第4図である。



第4図 負荷側 impedance の測定結果

第4図の横軸は、 $S.W.D$ の検波電流の最大値で、自乗検波と見なせる範囲内では、入力電力に比例すると考えられるものである。

Z_{mnl} の series resistance 及び reactance は $VSWR$ 及び phase shift から Smith 図表を使用することに依り計算した。

中位の電力 level における実験的に求めた $VSWR$ を $(VSWR)_{exp}$ とすれば、

$$(VSWR)_{exp} = 120 \quad (11)$$

であつた。これは、少々高過ぎる様に見えるが、

$$\dot{Z}_{g'h'l} = \dot{Z}_{01} \quad (12)$$

の場合でさえも、第(3)式に依れば、

$$\dot{Z}_{kll} = 60 - i 1.45 \quad (\Omega) \quad (13)$$

となつて、 $VSWR$ を Smith 図表から求めてみると

$$VSWR = 1.2 \quad (14)$$

となる。この場合の出力 impedance は、検波出力電流

が最大の場合、実測に依れば、

$$\dot{Z}_{g'h'l} = 45.5 - i 640 \quad (\Omega) \quad (15)$$

で、(3)式より入力 impedance を計算してみると

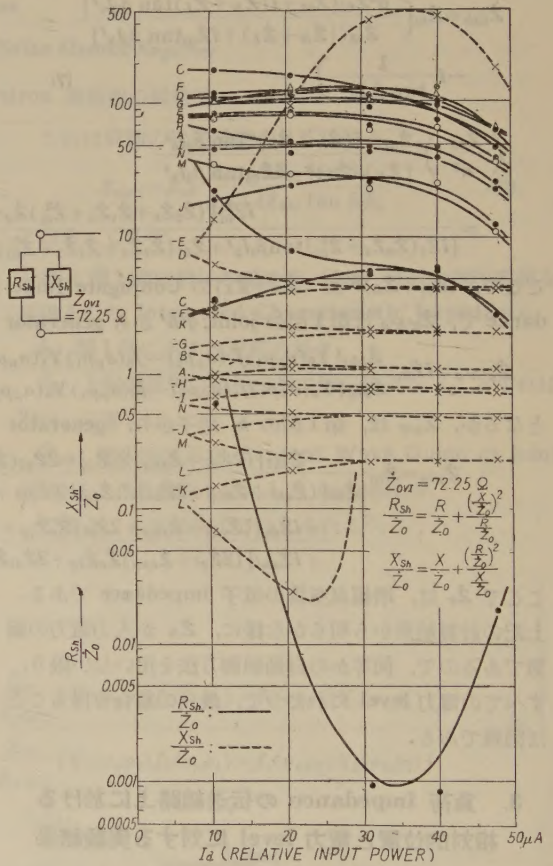
$$\dot{Z}_{kll} = 13.74 - i 232.5 \quad (\Omega) \quad (16)$$

となり、Smith 図表に依り $VSWR$ を計算してみると

$$(VSWR)_{cal} = 100 \quad (17)$$

となつて、大体(14)式の結果と一致する。

後述する様に、並列抵抗が増幅には重要な因子となるので、第4図の直列回路を等価的な並列回路に書き直したのが第5図である。



第5図 第4図の結果から換算した並列 impedance

4. 増幅度と電力 level 対 Impedance 特性との関係

Reflex-Klystron 増幅器の電力増幅度 n は次式で与えられる。

$$n = \frac{P_{in}^r}{P_{in}^r} = 1 + \frac{P_{en}^r}{P_{in}^r} = \frac{\beta I_0 J_1(a) V_n \cos \phi}{V_1^2 / 2 R_{sh}} + 1 \quad (18)$$

ここで

P_{in}^r : Reflex-Klystron の出力電力。(増幅器全体としての出力)。

P_{in}^r : 極超短波入力電力。

P_{en}^r : 増幅が定常状態にある時, 電子 Beam に依つて発生する Dynamic Power.

β : Reflex-Klystron の間隙係数。

I_0 : 有効電子流。

V_1 : Reflex-Klystron の間隙における極超短波入力電圧。

V_n : Reflex-Klystron の間隙に於ける極超短波出力電圧。

R_{sh} : 上記間隙に並列に連る外部回路の抵抗分。(第5図参照)

$$\phi = \theta - 2\pi \left(n - \frac{1}{4} \right), \quad n=0, 1, 2, 3, \dots \quad (19)$$

$$\text{で,} \quad \theta = 2\pi n - \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{X}{R} \quad (20)$$

で, R 及び X は, Reflex-Klystron の間隙から外部回路を見た場合の直列抵抗および直列リアクタンスで(18)式中の a は,

$$a = \theta \beta V_1 / 2 V_0 \quad (21)$$

であるが, ここで V_0 は, 直流加速電圧である。

結論として, 増幅度は, V_1 , V_n , R , X , および R_{sh} に依存していることがわかる。第4図および第5図は, 或一定の真空管の伝送回路上に於ける位置に対して上記の諸因子が如何なる特性を持っているかを示している。

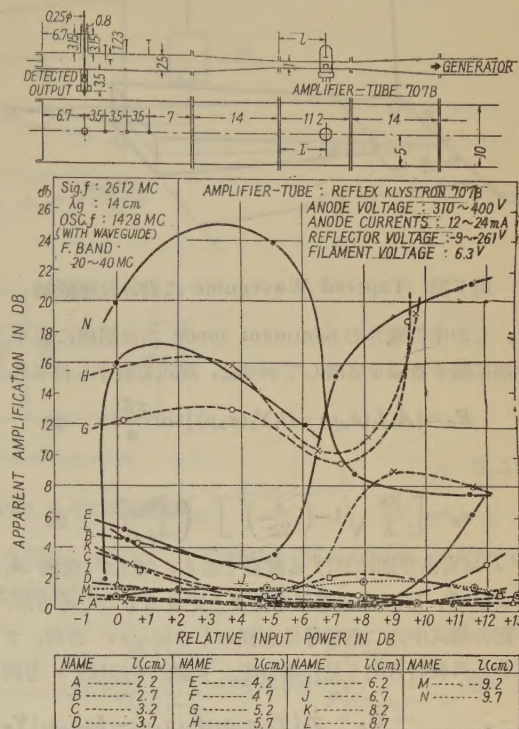
5. 極超短波増幅の実験

第3図は, 極超短波増幅の実験回路図である。この場合は, 図に於て回路Ⅰの SWD を取り去り, その替りに回路Ⅱの増幅管の Mount とを取り付けて実験を行った。検波出力回路もⅠの回路を取り除き, 替りにⅡの回路を取り付けて実験をした結果が第6図である。

第6図は, 増幅度が, 入力 level および真空管挿入位置に依つて如何に変化するかを実験的に示したものである。

入力 level の 0 db は, 第3図の回路Ⅱの真空管電圧計の読みが 0.17 volts の時を, ここでは, 0 db と定義

している。



第6図 増幅度と真空管位置との関係の実験結果

6. 結 言

第6図に示す実験結果から明らかな様に, 伝送線路上の真空管挿入位置を適当に撰ぶ事に依り, ある程度任意に, 増幅特性を変化せしめ得ることが判明した。特に, 第6図 E の場合の如きは, 入力 level の増加と共に増幅度は低下せず, かえつて上昇せしめ得たという事実は注目すべき事柄であらう。

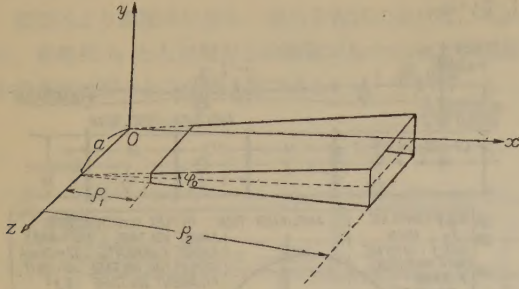
終りに本学部長横地伊三郎先生, 並らびに, 本学諸先生の御指導に深謝すると共に, 実験に協力して下さいた木谷恵一, 高橋幸男, 及び, 佐藤修の諸氏に感謝する。

附 録 電圧及び 電流を基礎とした E 面型 Tapered Waveguide の入力 impedance.

本文中の第(3), (4), (5)および(10)式は, 下記の如くして求めたものである。

今, 第7図に示すような E 面型 Tapered Waveguide に座標軸および各部の寸法を図示の如く定めたとする

5) 岡部隆博: 反射型クライストロンを用いる極超短波増幅. (理論) 昭和 25 年 7 月 15 日. 極超短波総合研究委員会特殊管科会報告,



第7図 Tapered Waveguide に設けた座標軸

と、この中の電界の dominant mode のは慣例に依り、時間に関する項を省略して示せば、次式で表示し得る。

$$E_{\varphi} = \{A_1 J_1(\sigma_{\rho}\rho) + B_1 Y_1(\sigma_{\rho}\rho)\} \sin \frac{\pi z}{a} \quad (22)$$

ここで

$$\sigma_{\rho}^2 = \left[\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2} \right]^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_g} \right)^2 \quad (23)$$

で λ は自由空間における波長である。また、常数 A_1 および B_1 は、次の端子条件より定まるものであるが、下記の諸式中の二重符号は上側のものが $+x$ 方向、すなわち外側の方向を見た場合で、下側のものは $-x$ 方向

$$F_n^0(\sigma_{\rho}\rho) = \frac{\dot{V}_0}{\rho_2^2 \varphi_0} \left\{ \begin{aligned} & \dot{Z}_2 \{ Y_0(\sigma_{\rho}\rho_2) J_n(\sigma_{\rho}\rho) - J_0(\sigma_{\rho}\rho_2) Y_n(\sigma_{\rho}\rho) \} \pm i \dot{Z}_{OVI}^0 \{ Y_1(\sigma_{\rho}\rho_2) J_n(\sigma_{\rho}\rho) - J_1(\sigma_{\rho}\rho_2) Y_n(\sigma_{\rho}\rho) \} \\ & \dot{Z}_1 \{ Y_0(\sigma_{\rho}\rho_2) J_1(\sigma_{\rho}\rho_1) - J_0(\sigma_{\rho}\rho_2) Y_1(\sigma_{\rho}\rho_1) \} \pm i \dot{Z}_{OVI}^0 \{ Y_1(\sigma_{\rho}\rho_2) J_1(\sigma_{\rho}\rho_1) - J_1(\sigma_{\rho}\rho_2) Y_1(\sigma_{\rho}\rho_1) \} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

但し

$$n=0 \text{ 又は } 1.$$

$$\dot{Z}_{OVI}^0 = \frac{\pi \rho_2 \varphi_0}{2a} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2}$$

である。

(24) 式より、Tapered Waveguide の Maximum Transverse Voltage \dot{V} は、

$$\dot{V} = \rho \varphi_0 [\dot{E}_{\varphi}]_{z=\frac{a}{2}} = \rho \varphi_0 F_1^0 \quad (25)$$

であり、Total Longitudinal Current \dot{I} は、(24) 式より

$$\dot{I} = \pm \int_0^a H_z dz = \mp \frac{2a\sigma_{\rho}}{i\omega\mu\pi} F_0^0 \quad (26)$$

となる。

次に、(25)、及び(26)式より、Tapered Waveguide の単位長当りの側壁を流れる電流を \dot{J}_c とすれば、これは Transverse Conduction Current で

$$\dot{J}_c = 2[H_{\rho}]_{z=0} = \frac{2\pi}{i\omega\mu a \rho \varphi_0} \dot{V} \quad (27)$$

従つて、電圧、電流に基いた単位長当りの等価並列

すなわち、内側を見た場合を示すものと約束する。

$$[\dot{E}_{\varphi}]_{\rho=\rho_1} = \frac{\dot{V}_0}{\rho_1^2 \varphi_0} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} [\dot{E}_{\varphi}]_{\rho=\rho_2} &= \frac{\dot{Z}_2}{\rho_2^2 \varphi_0} [\dot{I}]_{\rho=\rho_1} \\ &= \frac{\dot{Z}_2}{\rho_2^2 \varphi_0} \left[\pm \int_0^a H_z dz \right]_{\rho=\rho_2} \end{aligned} \quad (29)$$

但し、 ρ_1 、 ρ_2 は第7図に示してある値で V_0 は入力印加電圧、 \dot{Z}_2 、 \dot{Z}_1 は、それぞれ、 $\rho=\rho_2$ 或いは ρ_1 に於ける出力 impedance である。

上記の如くして定数を定め、Maxwell の方程式から各電磁界成分を求めると、

$$\dot{E} = F_1^0 \sin \frac{\pi}{a} z \quad (30)$$

$$\dot{H}_{\rho} = \frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial \dot{E}_{\varphi}}{\partial z} = \frac{\pi}{i\omega\mu a} F_1^0 \cos \frac{\pi}{a} z \quad (31)$$

$$\dot{H}_z = -\frac{1}{i\omega\mu\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho \dot{E}_{\varphi}) = -\frac{\sigma_{\rho}}{i\omega\mu} F_0^0 \sin \frac{\pi}{a} z \quad (32)$$

となる。ここで、

inductance は

$$\dot{L}_{VI} = \frac{\dot{V}}{i\omega \dot{J}_c} = \frac{\mu a \rho \varphi_0}{2\pi} \quad (33)$$

となる。

次に、Tapered Waveguide の単位長当りの Transverse Displacement Current を \dot{J}_d とすれば (25)、(26) 両式より、

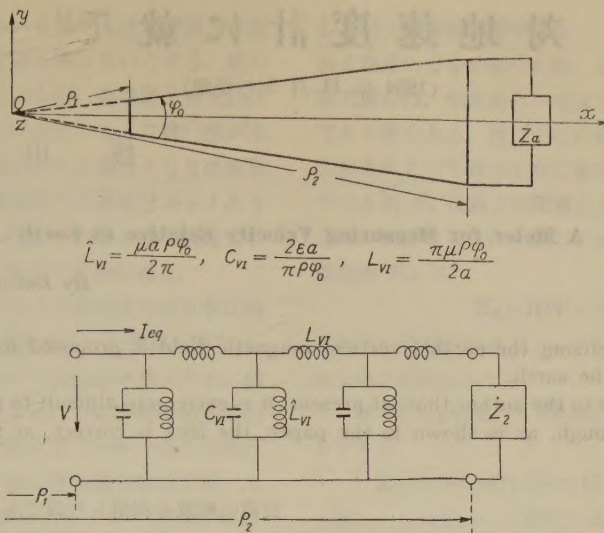
$$\dot{J}_d = i\omega \varepsilon \int_0^a \dot{E}_{\varphi} dz = \frac{2i\omega \varepsilon a \dot{V}}{\pi \rho \varphi_0} \quad (34)$$

従つて、単位長当りの等価並列静電容量は、

$$C_{VI} = \frac{\dot{J}_d}{i\omega \dot{V}} = \frac{2\varepsilon a}{\pi \rho \varphi_0} \quad (35)$$

となり、単位長当りの等価直列 inductance は、(30) 式および(31)式より、

$$L_{VI} = \mp \frac{1}{i\omega \dot{I}} \frac{d\dot{V}}{d\rho} = \frac{\pi \mu \rho \varphi_0}{2a} \quad (36)$$



第8図 Tapered Waveguide とその等価回路

となる。

故に、電圧と電流を基礎とした Tapered Waveguide の等価回路は、第8図の如くなる。

図に於て、等価回路に於ける Longitudinal Current を I_{eq} とすれば、

$$\begin{aligned} \frac{dI_{eq}}{d\rho} &= \mp \dot{Y} \dot{V} \\ &= \mp i \left(\omega C_{VI} - \frac{1}{\omega L_{VI}} \right) \rho \varphi_0 F_1^0 \\ &= \pm i \left(\frac{2\omega \varepsilon a}{\pi} - \frac{2\pi}{\omega \mu a} \right) F_1^0 \end{aligned} \quad (37)$$

であるから、

$$I_{eq} = \pm \frac{i}{\sigma_\rho} \left(\frac{2\omega \varepsilon a}{\pi} - \frac{2\pi}{\omega \mu a} \right) F_1^0 \quad (38)$$

となる。従つて、Tapered Waveguide の入力 impedance は、

$$Z_{VI}^0 = \frac{[\dot{V}]_{\rho=\rho_1/2}}{[\dot{I}_{eq}]_{\rho=\rho_1/2}} = \mp i Z_{OVI}^0 \frac{F_1^0(\sigma_\rho \rho_1)}{F_1^0(\sigma_\rho \rho_2)} \quad (39)$$

となる。ここで、 Z_{OVI}^0 は、電圧・電流を基礎とした入力側導波管の特性 impedance (Integrated Characteristic Impedance) に殆ど等しく、

$$Z_{OVI}^0 = \frac{\pi \rho_1 \varphi_0}{2a} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2} \quad (40)$$

である。

対地速度計に就て¹⁾

(1954 年 11 月 5 日受理)

抜 山 大 三

A Meter for Measuring Velocity Relative to Earth

By Daizo NUKIYAMA

A speedmeter utilizing the earth's vertical magnetic field is proposed for measuring aircraft velocity relative to the earth.

However it seems to the author that, at present, it is extremely difficult to produce such a meter of practical use although, as is shown in the paper, the idea is correct, at least theoretically.

1. 緒 言

航空機の乗員が地表面を見る事なく単に計器に依つて航空機の対地速度を知る事が出来るかどうかの問題をここに考えて見る。著者が考え出したのは太平洋戦争の始まる頃であつて、今から十数年前の事に属するが、当時としては航空機の速度が小さく実現不可能と考え単に著者の周囲に居つた航空研究所員に口頭で意見を云い且つその方法が著者の考え出したものである事を証明するが為に特許を申請して置いただけのものであつた。しかし近時対地速度が音速にまで近づき、その線も突破する勢になつて来たので一応その方式の実現を期して努力するのも無益ではないと考えるようになり、多少の考察ならびに研究²⁾を始めたので以下その方式、研究成果をここに報告させていただく次第である。

2. 計器の理論

地球磁力を利用する方式であつて一応米国では相対性理論により不可能であると航空計器研究者によつて報告された方式である。しかしそれ等の報告には根本的に誤つた部分の存在する事に著者が気付き、これを訂正考案し直したものであつて理論は先のものと大して変りはない。米人により考えられた方式はコイルを作りその中に入る地球磁気の磁力線により誘起される起電力が飛行機の速度に比例するものとして第一回の実物実験をしていたのであつた。しかしこの測定は失敗に終つたのでこの理由は地球磁力 0.3 ガウス程度があまりにも弱いためであるとし、第二回の実物実験ではこれを強めるために

良質の軟鉄を利用したのである。それでも起電力が誘起されなかつたので、相対性理論が持ち出され機上の人自身は走っているかどうか知る事が出来ないのだから起電力も誘起されないのだと結論したのである。しかしこの方式には過誤がある。それはコイル内に入つて来る磁力線と同数の磁力線が又出て行くという事であつてその路の人としては大変な思い違いであつた。ここで軟鉄を使つたといふ磁力線の数を増しても同様である事は論を俟たない。ここに相対性理論の通俗な説明である「エレベーター内の人には自身が昇つているか降つているか加速度は知る事を得ても進行方向は知る事は出来ない」という部分の不充分な理解が害をなした事を考えねばならない。すなはちエレベーター内の人でも何かの測針を室外に出し外部の壁の運動を測定すれば上昇、下降の運動も知り得る事はあまりにも単純な事であり、相対性理論により外部が見えないから測定出来ない現象であるとする事の出来ない現象である事は明らかである。

然らば何がここに於ける航空機の対地速度計に使用されるコイルの測針になり得るであろうかが問題となつて出て来る。しかしその解答は又非常に簡単であつてコイルの一部が地表面であればよいのである。この時のコイルは非常に大となるのは避け難い事ではあるが実行出来る種類のものとなつて来る。すなわち考え方としては第一に垂直面内に四角な単巻のコイルを想像する。これを四個の部分 l, a, b, e に分けて考える。 l は機上の部分で a 及び b は機に着いていて下端で土地に接しているか、又は土地に着いていて機上の l に両端で接しているか、いずれかであると考え、 e は土地で実質的電氣的

1) 特許 142109 号。

2) 日本大学より本年度研究費を受けた。

に a 及び b を結ぶ部分である。 a 及び b は地球磁力の垂直分力と並行であり、それを切る事はないとする。後の考え方に於てこの事は困難になるが、実効値を考えればそのような事も成立するようになる。ここで飛行機が水平飛行をすれば接する所に刷子がある場合となり単極発電機の発電の理論と同様に地球磁力の垂直分力を l あるいは e が航空機の水平対地速度 v で切る時の起電力を得る。従つて $ealb$ なる閉回路内に電流が通る。

しかし以上書かれた方式はおよそ非現実である事は明瞭であつて a, b なる二つの導体はとても実現し得ない。そこでこれを現実に一歩近づけるために a 及び b を二個の電気容量と取り変える事とする。この容量は非常に小さなものになる事は航空機は例えば 1 km の高さを飛行するとすれば l 及び e なる 2 個の導体間の電気容量、あるいは l なる導体が地面を鏡と考え 2 km 離れて存在する時互に持つ電気容量を考え直ちに求める事も出来、またその小さい事を知り得る。

この時先の起電力が直流であつてその回路内に二個の電気容量が直列に入っているのであるから一度荷電するだけでその後電流は零に近づくのみである。従つて測定困難な量となり、ここに考えの上での非現実性が出て来る。しかしこの点は容易に解き得る。それは l を垂直軸の周りに回転させる事である。この時 $albe$ 内の起電力は交番となり、その内には交流が通る事となり理論的には l 内に適当な大さのインピーダンスを入れその両端に出て来る電位差 E_0 を増幅測定すればよい事になる。ここで特に注意されねばならないのは決して l が地面に対

して持つ全静電容量ではなく、 l 内に交番電流が通り、ある電荷の分布が起つた時、その $+$ の電荷間を結ぶ電力線の内、地表面に一度達するものに関係する量のみである事である。従つてこの容量は航空機の地表面よりの高度によつて異つて来る量であり、従つて又先の測定すべき量 E_0 は高さの関数として、対地速度 V と関連しなければならない。而して l に透起される全起電力の最高値 E_m は

$$E_m = HlV \times 10^{-8} \text{ volt}$$

である。今回回路のインピーダンスは非常に大であるがそれを考えの外にして

$$H = 0.3 \text{ gauss}, l = 100 \text{ cm}, V = 330 \text{ m/sec.}$$

とすると

$$E_0 < 0.3 \times 100 \times 330 \times 10^2 \times 10^{-8} = 10 \text{ mV}$$

を得る。この値は一応測定し得る程度であるかのようにあるがしかし実測さる可き E は非常に小さく実際の測定はなかなか困難であると見なければならない。第一は雑音による困難であり、第二は機体の振動である。 l なる棒を毎秒数千回廻転する事が望ましいと考えられるがこれには第二の困難が附随する。又もし航空機にマグネトが使用されているならば第一の雑音が大きくなる。以上考えただけでもこの実験の困難な程度が推測される。しかも結局に於て航空機上の実物実験をなさねば証明が出来ないのであるから現実の日本としては実現不可能な問題かも知れないが、とにかく書かしていただいた次第である。

対地速度計に就て¹⁾

(1954 年 11 月 5 日受理)

抜 山 大 三

A Meter for Measuring Velocity Relative to Earth

By Daizo NUKIYAMA

A speedmeter utilizing the earth's vertical magnetic field is proposed for measuring aircraft velocity relative to the earth.

However it seems to the author that, at present, it is extremely difficult to produce such a meter of practical use although, as is shown in the paper, the idea is correct, at least theoretically.

1. 緒 言

航空機の乗員が地表面を見る事なく単に計器に依つて航空機の対地速度を知る事が出来るかどうかの問題をここに考えて見る。著者が考え出したのは太平洋戦争の始まる頃であつて、今から十数年前の事に属するが、当時としては航空機の速度が小さく実現不可能と考え単に著者の周囲に居つた航空研究所員に口頭で意見を云い且つその方法が著者の考え出したものである事を証明するが為に特許を申請して置いただけのものであつた。しかし近時対地速度が音速にまで近づき、その線も突破する勢になつて来たので一応その方式の実現を期して努力するのも無益ではないと考えるようになり、多少の考察ならびに研究²⁾を始めたので以下その方式、研究成果をここに報告させていただく次第である。

2. 計器の理論

地球磁力を利用する方式であつて一応米国では相対性理論により不可能であると航空計器研究者によつて報告された方式である。しかしそれ等の報告には根本的に誤つた部分の存在する事に著者が気付き、これを訂正考案し直したものであつて理論は先のものと大して変りはない。米人により考えられた方式はコイルを作りその中に入る地球磁気の磁力線により誘起される起電力が飛行機の速度に比例するものとして第一回の実物実験をしていたのであつた。しかしこの測定は失敗に終つたのでこの理由は地球磁力 0.3 ガウス程度があまりにも弱いためであるとし、第二回の実物実験ではこれを強めるために

良質の軟鉄を利用したのである。それでも起電力が誘起されなかつたので、相対性理論が持ち出され機上の人自身は走っているかどうか知る事が出来ないのだから起電力も誘起されないのだと結論したのである。しかしこの方式には過誤がある。それはコイル内に入つて来る磁力線と同数の磁力線が又出て行くという事であつてその路の人としては大変な思い違いであつた。ここで軟鉄を使つてたとえ磁力線の数を増しても同様である事は論を俟たない。ここに相対性理論の通俗な説明である「エレベーター内の人には自身が昇つているか降つているか加速度は知る事を得ても進行方向は知る事は出来ない」という部分の不充分な理解が害をなした事を考えねばならない。すなはちエレベーター内の人でも何かの測針を室外に出し外部の壁の運動を測定すれば上昇、下降の運動も知り得る事はあまりにも単純な事であり、相対性理論により外部が見えないから測定出来ない現象であるとする事の出来ない現象である事は明らかである。

然らば何がここに於ける航空機の対地速度計に使用されるコイルの測針になり得るであろうかが問題となつて出て来る。しかしその解答は又非常に簡単であつてコイルの一部が地表面であればよいのである。この時のコイルは非常に大となるのは避け難い事ではあるが実行出来る種類のものとなつて来る。すなわち考え方としては第一に垂直面内に四角な単巻のコイルを想像する。これを四個の部分 l, a, b, e に分けて考える。 l は機上の部分で a 及び b は機に着いていて下端で土地に接しているか、又は土地に着いていて機上の l に両端で接しているか、いずれかであると考え、 e は土地で実質的電氣的

1) 特許 142109 号。

2) 日本大学より本年度研究費を受けた。

に a 及び b を結ぶ部分である。 a 及び b は地球磁力の垂直分力と並行であり、それを切る事はないとする。後の考え方に於てこの事は困難になるが、実効値を考えればそのような事も成立するようになる。ここで飛行機が水平飛行をすれば接する所に刷子がある場合となり単極発電機の発電の理論と同様に地球磁力の垂直分力を l あるいは e が航空機の水平対地速度 v で切る時の起電力を得る。従つて $ealb$ なる閉回路内に電流が通る。

しかし以上書かれた方式はおよそ非現実である事は明瞭であつて a, b なる二つの導体はとても実現し得ない。そこでこれを現実的一步近づけるために a 及び b を二個の電気容量と取り変える事とする。この容量は非常に小さなものになる事は航空機は例えば 1 km の高さを飛行するとすれば l 及び e なる 2 個の導体間の電気容量、あるいは l なる導体が地面を鏡と考え 2 km 離れて存在する時互に持つ電気容量を考え直ちに求める事も出来、またその小さい事を知り得る。

この時先の起電力が直流であつてその回路内に二個の電気容量が直列に入っているのであるから一度荷電するだけでその後電流は零に近づくのみである。従つて測定困難な量となり、ここに考えの上での非現実性が出て来る。しかしこの点は容易に解き得る。それは l を垂直軸の周りに回転させる事である。この時 $albe$ 内の起電力は交番となり、その内には交流が通る事となり理論的には l 内に適当な大さのインピーダンスを入れその両端に出て来る電位差 E_0 を増幅測定すればよい事になる。ここで特に注意されねばならないのは決して l が地面に対

して持つ全静電容量ではなく、 l 内に交番電流が通り、ある電荷の分布が起つた時、その $+$ の電荷間を結ぶ電力線の内、地表面に一度達するものに関係する量のみである事である。従つてこの容量は航空機の地表面よりの高度によつて異つて来る量であり、従つて又先の測定すべき量 E_0 は高さの関数として、対地速度 V と関連しなければならない。而して l に透起される全起電力の最高値 E_m は

$$E_m = HlV \times 10^{-8} \text{ volt}$$

である。今回路のイムピーダンスは非常に大であるがそれを考えの外にして

$$H = 0.3 \text{ gauss}, l = 100 \text{ cm}. V = 330 \text{ m/sec.}$$

とすると

$$E_0 < 0.3 \times 100 \times 330 \times 10^2 \times 10^{-8} \approx 10 \text{ mV}$$

を得る。この値は一応測定し得る程度であるかのようであるがしかし実測さる可き E は非常に小さく実際の測定はなかなか困難であると見なければならぬ。第一は雑音による困難であり、第二は機体の振動である。 l なる棒を毎秒数千回廻転する事が望ましいと考えられるがこれには第二の困難が附随する。又もし航空機にマグネトーが使用されているならば第一の雑音が大きくなる。以上考えただけでもこの実験の困難な程度が推測される。しかも結局に於て航空機上の実物実験をなさねば証明が出来ないのであるから現実の日本としては実現不可能な問題かも知れないが、とにかく書かしていただいた次第である。

塑性変形の研究(1)

拔 山 大 三・小 沢 実

On Plastic Deformation due to Tensile Loads (1)

By Daizo NUKIYAMA and Minoru OZAWA

In this report the authors give the results obtained from the experiments, which were carried out in their laboratory, aiming to show the principles of the plastic deformation which should be fulfilled in the press-works. As the most convenient test-pieces, specially annealed Al-specimens with various rectangular cross-sections were selected. In the first place, some attentions were paid to the duration of time of applying loads. As a preliminary study, several force-applying-duration times from nearly zero to fifty minutes were tried. During this series of experiments the time of load application (from the beginning of the deformation to the end of the fracture of the specimens) was the main consideration, the moving velocities of the chucks holding the ends of the specimen being nearly constant. Under such circumstances the deformations might be considered to be achieved under the iso-thermal state of the specimens. This must be distinguished from high speed tests which may be called adiabatic. Some discussions on these experiments of the first kind(isothermal)and of the second kind(adiabatic) were made. In cases of the first kind the optimum plastic elongation appeared in certain ranges of thickness of the specimens when widths were kept constant. Also, an attempt was made to obtain some conceptions of the strain distributions on the cross-section of the test pieces under the action of the first kind. In this case the pieces were considered as elastic bodies, this assumption being valid during the course of deformation of the first kind.

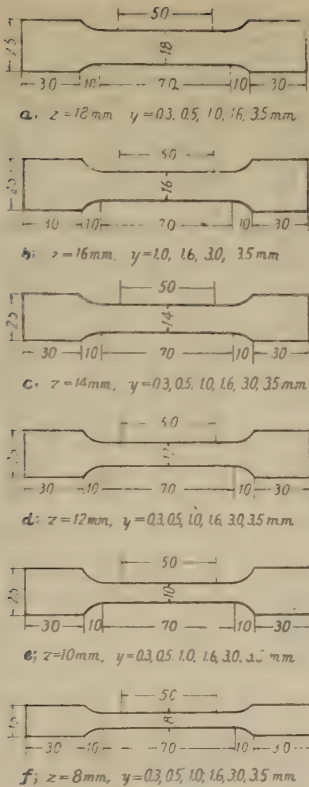
1. 緒 言

現在使用されているプレスはその原理に於て何等の進歩性を認める事が出来ないような所謂機械的なものであるが、それに少しの変化を求めるために、先づその基礎的な研究を始めたのである。先づ市販のアルミニウム板を用いて、単純引張による塑性伸び歪と長方形断面を有する試験片の厚さおよび幅との関係を実験的に調べ、その結果に対して考察を加えたものが本報告である。一般にプレス加工は引張、圧縮、および剪断による塑性変形およびその他種々の物理的諸要素が複雑に組合わされてなされるものである、従つて初めから斯様な現象を総合して取扱う事は極めて困難であるから、この複雑な現象を分析して、その主要な現象として引張による塑性変形を先づ取上げたのである。各形状の試験片に対して、比較すべき塑性歪は試験片が破断する迄に生じたものを取つてあるが、これは実際にプレス加工を行う場合、材料が破断してはならないという事実が一条件であるからである。また、市販アルミ板を使用したのは實際上それを使用するに相違ないからである。また、各実験値の精度を見るため同じ型の試験片は殆ど全部 4, 5 枚づつ使用してある。

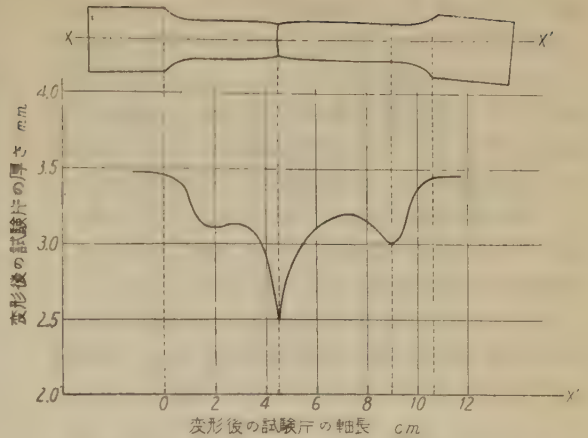
2. 実 験

実験は常温にて行ひ試験機としてアムスラー型を用いた。試験片は第 1 図に示す形状のものを日大工場にて製作して頂いた。標線間距離が 5 cm のものを 300°C で 1 時間焼鈍し、炉中自然冷却して使用した。

始めけ書きにより線を多数、直交させる様、試験片上に書いて引き延ばしたのであつたが、それ等線の変形が引き延すに要する時間に依つて異なる事が先づ見出された。依つてその事情を凡そ知るために引張に要する時間を数秒から 50 分迄の範囲で行つて見た。この時一般的の伸び方の変化は比較的短時間での操作では最後の変形が一定せず、ある時は一個所、またある時は二個所にくびれを生じ、その中の一個所が特に伸びて破断される。これに反し、長時間をかけて操作した時にはくびれは一個所にのみ生じ、しかもその形は規則正しく一定の物理条件にて破断が行われたと考えられる様相を示すのである。この状況が第 2 図 a および b に示してある。a は数分、b は数秒で破断したものである。しかし非常に短時間の操作および非常に長時間をかける試験機の操作の中間操作による試験片の受ける変形は非常に多くの精密な実験に依らねば良好な結果が得られない事が想像され



第1図 試験片寸法

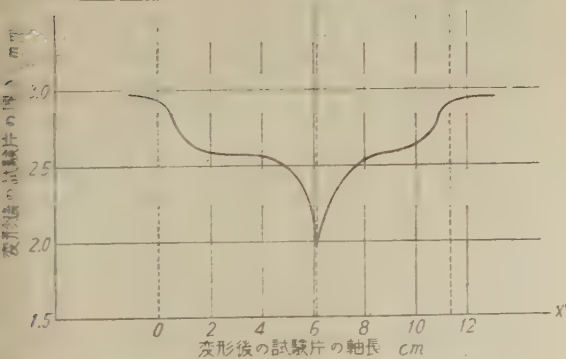


第2図(b) 変形後の試験片の厚さ(引張時間数秒) われるためによるものと考えた。依つてそれぞれ断熱変形、等温変形およびそれ等の中間変形として区別して考える事にした。ここでは主として第二の等温変形の場合について研究したのである。

実際現在行われているプレス加工ではこの三種の変形が入り混りある部分は断熱的であると考えられ、他の部分は両者の中間変形であると考えられ、また他の部分は等温変形であると考へられる事は注目に値する。従つてプレスの操作によつて製品に差異が大きく出て来て、この事が単に雌雄兩型の形のみによらない事が想像されるのである。

3. 実験結果

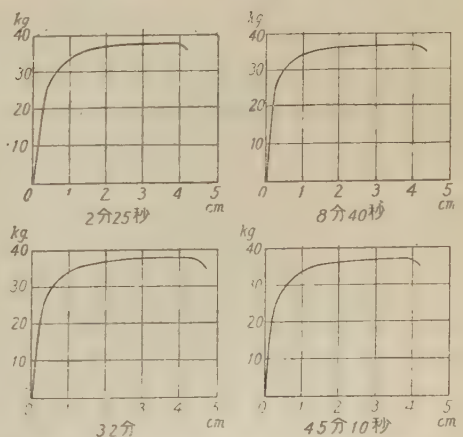
第3図は d 試験片($Z=12$ mm)の中の厚さが 3.5 mm の試験片の荷重伸び曲線で、各曲線の下の時間は引張試験機の作動中に経過した時間で、最大は 45 分 10 秒から



第2図(a) 変形後の試験片の厚さ(引張時間数分)

るので、ここでは将来の問題として残して置く事にした。

以上の様に数秒間で試験片を破断した場合と数分以上で破断した場合とでは結果に著しい相違のあることが知られたのであるが、これは前者の変形が局部的に高温となる事情の下に行われるのに反し、後者は等温に近く行



第3図 引張時間を変えた時の荷重伸び曲線 (試験片 d)

最小は 2 分 25 秒迄の四種類が示してある。図よりこの範囲の引張時間では荷重伸び曲線は殆ど変化しないことがわかる。他の試験片についても、この範囲の引張時間では同じく荷重伸び曲線は第 3 図の場合と同様に引張時間の変化に対してはその変化が認められなかつた。依つて以後の実験は総て作動時間を凡そ上述の範囲で行つた。第 1 表より第 6 表迄の各表は夫々 a, b, c, d, e 及び f なる 36 組の試験片について実験した厚さ y と塑性歪 ϵ との関係を示したものである。

これらの中から代表的に第 1 表および第 2 表を図に表わすとそれぞれ第 4 図および第 5 図の如くなる。第 3 表以下を図に画くと総て第 4 図と殆ど同じ傾向になる。こ

第 1 表

a 試験片 ($Z=18\text{ mm}$) y : 厚さ ϵ : 塑性歪

No	$y(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$	No	$y(\text{mm})$	$y(\text{mm})$
1	3.50	44.0	15	0.98	60.0
2	3.50	41.0	16	0.98	58.6
3	3.50	42.4	17	0.98	57.0
4	3.50	44.0	18	0.51	45.2
5	2.95	58.2	19	0.51	48.0
6	2.95	53.2	20	0.51	49.0
7	2.95	54.0	21	0.51	48.0
8	2.95	58.2	22	0.51	50.0
9	1.57	59.0	23	0.51	50.4
10	1.57	62.0	24	0.30	32.2
11	1.57	58.8	25	0.30	35.0
12	1.57	61.0	26	0.30	36.0
13	1.57	62.0	27	0.30	30.0
14	0.98	59.0			

第 2 表

b 試験片 ($Z=16\text{ mm}$)

No	$y(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$	No	$y(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$
1	3.50	28.0	11	1.57	38.6
2	3.50	34.0	12	1.57	28.0
3	3.50	27.0	13	1.57	33.0
4	3.50	28.4	14	1.57	36.4
5	3.50	34.6	15	1.57	35.0
6	2.95	49.0	16	0.98	51.0
7	2.95	48.0	17	0.98	44.4
8	2.95	52.0	18	0.98	60.0
9	2.95	54.4	19	0.98	61.0
10	2.95	52.0	20	0.98	56.8

第 3 表

c 試験片 ($Z=14\text{ mm}$)

No	$y(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$	No	$y(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$
1	3.50	45.0	16	0.98	54.0
2	3.50	41.2	17	0.98	53.0
3	3.50	42.0	18	0.51	48.2
4	3.50	43.0	19	0.51	43.8
5	2.95	48.0	20	0.51	48.4
6	2.95	54.0	21	0.51	47.4
7	2.95	49.0	22	0.51	45.0
8	2.95	49.2	23	0.51	48.0
9	1.57	54.6	24	0.30	28.6
10	1.57	55.0	25	0.30	32.0
11	1.57	58.2	26	0.30	33.0
12	1.57	56.0	27	0.30	31.0
13	0.98	54.0	28	0.30	34.2
14	0.98	54.4	29	0.30	38.0
15	0.98	50.0			

第 4 表

d 試験片 ($Z=12\text{ mm}$)

No	$h(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$	No	$y(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$
1	3.50	50.0	15	0.98	54.4
2	3.50	42.0	16	0.98	53.6
3	3.50	43.0	17	0.51	50.0
4	3.50	44.0	18	0.51	48.0
5	2.95	51.0	19	0.51	49.0
6	2.95	52.0	20	0.51	42.6
7	2.95	54.0	21	0.51	48.2
8	2.95	49.6	22	0.30	28.0
9	1.57	52.0	23	0.30	14.0
10	1.57	53.0	24	0.30	34.4
11	1.57	54.0	25	0.30	43.4
12	1.57	53.0	26	0.30	48.0
13	0.98	50.6	27	0.30	40.0
14	0.98	56.0			

第 5 表

e 試験片 ($Z=10\text{ mm}$)

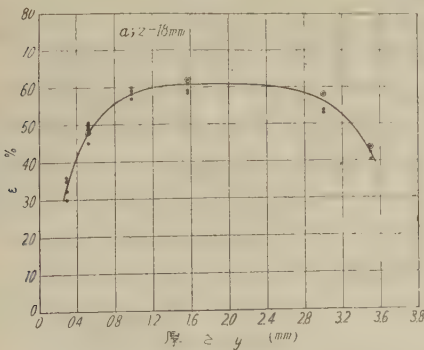
No	$y(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$	No	$y(\text{mm})$	$\epsilon(\%)$
1	3.50	46.0	3	3.50	50.6
2	3.50	50.6	4	3.50	40.0

No	y(mm)	ϵ (%)	No	y(mm)	ϵ (%)
5	3.56	45.0	17	0.98	52.0
6	2.95	49.0	18	0.51	47.0
7	2.95	50.0	19	0.51	45.0
8	2.95	46.2	20	0.51	45.0
9	2.95	48.0	21	0.51	50.0
10	1.57	54.6	22	0.51	47.0
11	1.57	54.0	23	0.30	18.0
12	1.57	50.0	24	0.30	18.0
13	1.57	52.0	25	0.30	17.0
14	0.98	54.4	26	0.30	21.0
15	0.98	48.0	27	0.30	18.0
16	0.98	52.0			

第 6 表

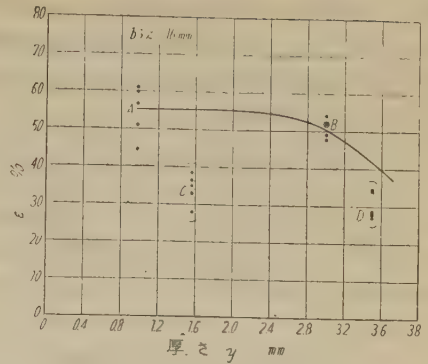
f 試験片 (Z=8 mm)

No	y(mm)	ϵ (%)	No	y(mm)	ϵ (%)
1	3.50	42.6	7	0.98	48.2
2	3.50	42.0	8	0.98	48.4
3	2.95	50.2	9	0.51	43.6
4	2.95	47.4	10	0.51	44.6
5	1.57	47.8	11	0.30	28.6
6	1.57	48.0	12	0.30	28.2



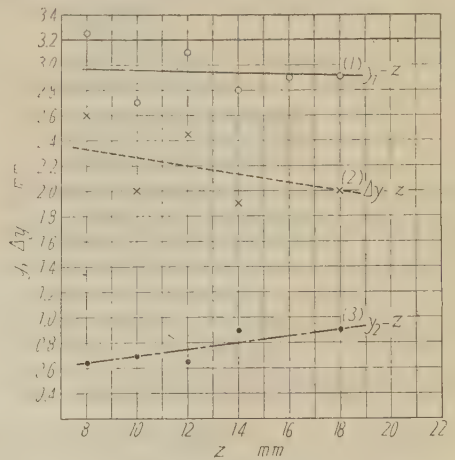
第 4 図 試験片の厚さと塑性歪 ϵ (a 試験片)

ここで各図とも横軸には試験片の厚さ y , 縦軸には塑性歪 ϵ を取つてある。第 5 図だけ除外すれば第 4 図より明かな様に幅 Z が一定の試験片で厚さ y を変化させると, 約 $y=0.3$ mm から $y=1.0$ mm 位の y の範囲では ϵ は y の増加と共に単に増し, $y=1.0$ mm から $y=2.4$ mm 位の範囲では ϵ は y に殆ど無関係になる。第 5 図の b 試験片についての実験値には特に $y=1.57$ mm および 3.5 mm に対する ϵ の値として, 他の試験片の場合と



第 5 図 試験片の厚さと塑性歪 ϵ (b 試験片)

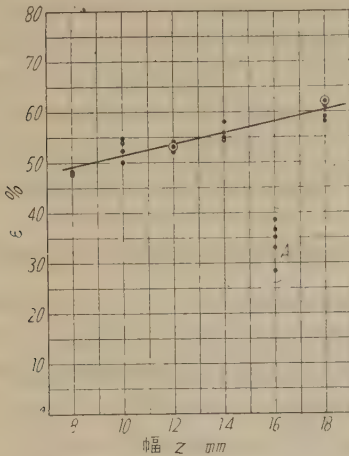
異り引張時間が数秒程度という短いものが使用してある。この場合の塑性伸び歪 ϵ の値は前述の長い引張時間の範囲で行う ϵ の値よりも約 10~20% 位減少していることが曲線の傾向から充分に見得る。従つて 2 分以上の引張時間による変形と数秒の引張時間による変形とは, その機構を区別して考えなければならないということが結果からも断定されたのである。第 6 図は, 第 4 図の如き曲線の山が試験片の幅 Z の変化に対してどの様に移動するかを示したもので, 横軸には試験片の幅 z を,



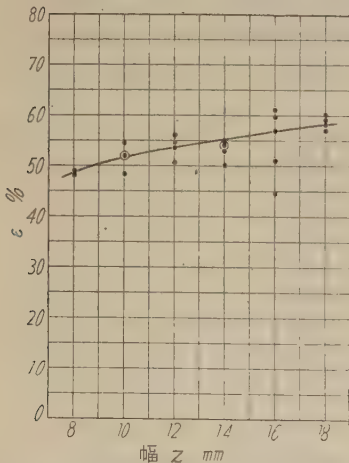
第 6 図 試験片の幅 Z と最大塑性歪を生ずる厚さ y

縦軸には第 4 図で伸び ϵ の最大値 ϵ_{max} より 10% 小さい伸びを生ずる所の y の値および等しい Z に対する上記二つの y の値の差 Δy が取つてある。この図で(1)は $(\epsilon_{max}-10)\%$ に対する大きい方の y の値 y_1 と Z と関係, (3) は $(\epsilon_{max}-10)\%$ に対する小さい方の y の値 y_2 と Z との関係, (2) は $y_1-y_2=\Delta y$ と Z との関係を示す。この図から第 4 図の如き $\epsilon-y$ 曲線で, 山の始めは Z が大きくなるに従つて次第に y の大きい方へ移動

して行く(曲線(3)). 山の終りは Z が変化しても殆ど変化しない(曲線(1)). 従つてこれらの差である, ϵ が殆ど変化しないと見られる山の幅 Δy は z が大きくなるに従つて小さくなる(曲線(2)).



第7図 (a) 試験片の幅 Z と塑性歪 ϵ ($y=1.57$)



第7図 (b) 試験片の幅 Z と塑性歪 ϵ ($y=0.98$)

第7図(a)及び(b)はそれぞれ厚さを一定にして幅 Z を変化した場合の ϵ の変化を示す曲線である。(b)の方の $Z=16$ mm に対する実験値 A グループは第5図の $y-\epsilon$ 曲線の C グループに対する値で例外である。ここには代表的に $y=0.98$ mm および $y=1.57$ mm に対する曲線だけを示したが他の y の値に対しても殆ど同様な曲線になる。この実験で使用した z の範囲では z が増加するに従つて ϵ は少しづつ増加する傾向があることが知られる。

y と Z の値は ϵ に対して元来同次のものであるが y に対しては数 mm 程度の大きさが与えられ、 Z に対

しては 8 mm 以上 18 mm の値が与えられているので、ここに作られた図には意味が出てくる。すなわちここには板なる物理的意味が入っている。以上多数の実験結果(供試験片数 142 枚)から、ここで行われた様な、幅および引き伸し時間に就て注意された実験に於ては伸びの量は凡そ三つの部分から成立する。すなわち、厚さが薄い時にはこの厚さに凡そ比例して伸びる量は増加する。次に厚さが 0.8 mm から 3.0 mm 程度の所では伸びの量は凡そ一定であり、3.0 mm 以上になると反つて伸びの量は減少する。なお断面の中心附近は試験片の中心線に直角であり、その中心から切れ始める事は明らかに普通知られている通りである。

4. 考 察

第一に引張時間を2分以上にして試験した厚さ y と塑性歪 ϵ との関係は第4図の曲線が示すように y のある範囲内では ϵ が殆ど変化なくその外方向の y に対しては y の増加に対して ϵ は一方は増加し、他方は減少するという極めて注目すべき結果を得た。

第二に第5図の b 試験片の $y=1.57$ mm および 3.5 mm に対する ϵ の値は引張時間が数秒程度であるが、これがまた他と比較して 15% 以上も小さいことも注意しなくてはならない。

依つて、先づ、これらの変形の機構について考えて見る。

試験片の変形前の絶対温度を T_0 とするとこの試験片を構成している分子は各自の安定点を中心として、 $E_0=3NkT_0$ なる熱振動エネルギーで振動している。ここに N は単位体積内の分子の数、 k はボルツマン常数、 E_0 は N 箇の分子の平均熱振動エネルギーの和である。外力の作用によつて試験片が変形されると、その時迄、位置エネルギー P_0 で平衡状態を保っていた各点の分子は、先の平衡状態より移動し位置エネルギーは $P_0+\Delta P$ に増加する。そして引張実験の中段に於てこの不安定な状態から元の安定した状態に移る事情が次々に起るため、位置エネルギーの増分 ΔP の一部、弾性によるもの以外は熱振動エネルギー ΔE に変化する。従つて熱振動エネルギーは $E=E_0+\Delta E$ に変化する。この時熱膨脹を考の外にすれば N の値には変化はなく、供試験片の温度も $\Delta T=T-T_0=(E-E_0)/3Nk$ だけ高くなる。今大きな引張速度で、試験片を急速に変形すると、多くの点で前述の如き分子の乱れが次々に起り、各分子の平均熱振動エネルギーは急速に増加する。そして変形によつて異つた特殊な位置へ行つた分子は、特に再び安定な位置

にもどることが容易に出来る性質を得、塑性変形が進行する。すなわち乱運動の勢力の増大した分子は再結晶する機会を充分に持ちながら変形して行くのである。この場合には試験片を変形するに要する時間は極めて短いか、その時間内に各分子が外部に失う熱量、すなわち熱振動エネルギーも極めてわずかである。従つて変形は殆ど断熱的に行われる。従つて変形後にも高温のため熱振動は大きく分子の移動が起り再結晶が起り得る。先にこの種の変形を断熱変形と呼んだ。

次に断熱変形より少々長い時間で変形させる場合、変形速度は相当大きくても振動している分子の熱振動速度は毎秒数百米以上で更に大きく、その運動エネルギーが大きいためその中心位置はより安定な位置に移り、再結晶は可成り短い時間でも行われ得る。従つて塑性変形の中段であつても変形中に再結晶することができる。これに反して、小さな引張速度で試験片を変形すると各中心点に於ける分子の中、特に運動勢力が大となり乱れるものの箇数の時間に対する割合はその勢力が他に伝導して行くので小さくなる。従つてこの分子の乱れのために単位時間内に発生する局部的温度上昇も引張速度が小さくなる程小さくなる。そこで、若しも、引張速度を極めて小さくした極限に於ては試験片の変形によつて局部的に起る温度上昇は極めて小さくなり、試験片は最初の温度 T_0 を保ちながら変形すると考え得る様になる。このような変形を、前の断熱変形に対して等温変形と呼んだのである。従つて変形によつて異つた位置へ行つた分子は前の断熱および中間変形の場合程、容易に再結晶の安定な位置へ行くことはできない。すなわち、変形中に再結晶する機会断熱および中間変形の場合より等温変形の場合の方が少くなる。また、変形後の大きく伸びた部分の内部組織も等温変形と断熱および中間変形とは異つてくるであろう。すなわち等温変形では繊維組織がよく現われるであろうが、断熱変形では前者程ではないであろう。以上が引張速度の大なる場合と小なる場合に於ける変形機構の凡その考察である。

次に等温変形の場合について更に考えて見る。今、試験片を極めて小さな速度で変形して行くと変形中の任意の瞬間に於て、外力は応力と釣合の状態にあると考えてよい。これは熱力学に於てしばしば考える準静的過程で、或る熱学に於けるサイクルを考える場合、普通に用いられている考え方を固体の変形の場合に適用したのである。この場合試験片の弾性係数は各瞬間に於て、常に変化して行くが、変化が非常に遅いのであるから、常に各変形の段階に於て、弾性体としての性質は失はないと

考え得る。これは変形の途中で外力を取り除いた場合試験片は弾性体であることには間違いないことから明らかである。勿論この試験片は弾性体である音も伝えるし、小さな引張、圧縮等に対しても弾性体としての性質を示す。従つて引張速度の小さい場合の変形の途中では外力と伸びとの関係は常に弾性体として考えてよい。この見地から、(I) 断面積の極めて小さい棒と、(II) 断面積の極めて大きな固体を等しい応力で引張つた場合の伸びがどう違うかを考えて本実験の y - ϵ 曲線を説明して見る。

(I) 断面積が極めて小さい棒 ($y \rightarrow 0, Z \rightarrow 0$) の引張

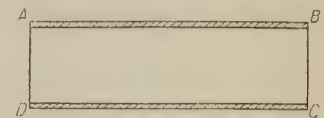
変形中の任意の状態からの引張応力の増分を $\Delta\sigma_1$ 、それに対する伸び歪を $\Delta\epsilon$ 、ヤング率を E とする。第 8 図は棒の引張の図で、 AB および CD は横の縮みが起らない様に試験機に固定されているとする。そして AD および BC は変形後には点線 $A'D'$ および $B'C'$ の如くなつたとする。 $A'D'$ および $B'C'$ は $A'B'$ および $D'C'$ の近くを除けば殆ど平行であると考えられる。然る時フックの法則により、伸び歪 $\Delta\epsilon$ は

$$\Delta\epsilon = \Delta\sigma_1 / E \quad (1)$$

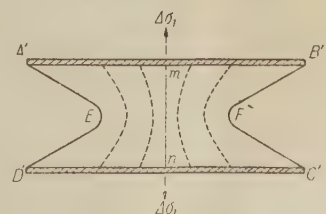
で与えられる。

(II) 断面が無限に大きな固体 ($y \rightarrow \infty, Z \rightarrow \infty$) の引張

第 9 図(a)は(I)の場合と同一な物質で、変形の程度も(I)と同一な弾性の性質を持つ所迄行われている様な変形中の固体と考える。そして断面は無限に大きく $AD=BC$ は有限とする。また AB および CD は (I) の場合と同様に固定されているとし、これらの面では横の縮みは



第 9 図 (a)



第 9 図 (b)

燃焼ガスの粘性係数，熱伝導率及び プラントル数について

(第2報 石炭燃焼ガス)

(1954 年 11 月 10 日受理)

齋 間 厚¹⁾

Viscosity, Thermal Conductivity and Prandtl Number of Combustion Gases of Coal

By Atsushi SAIMA

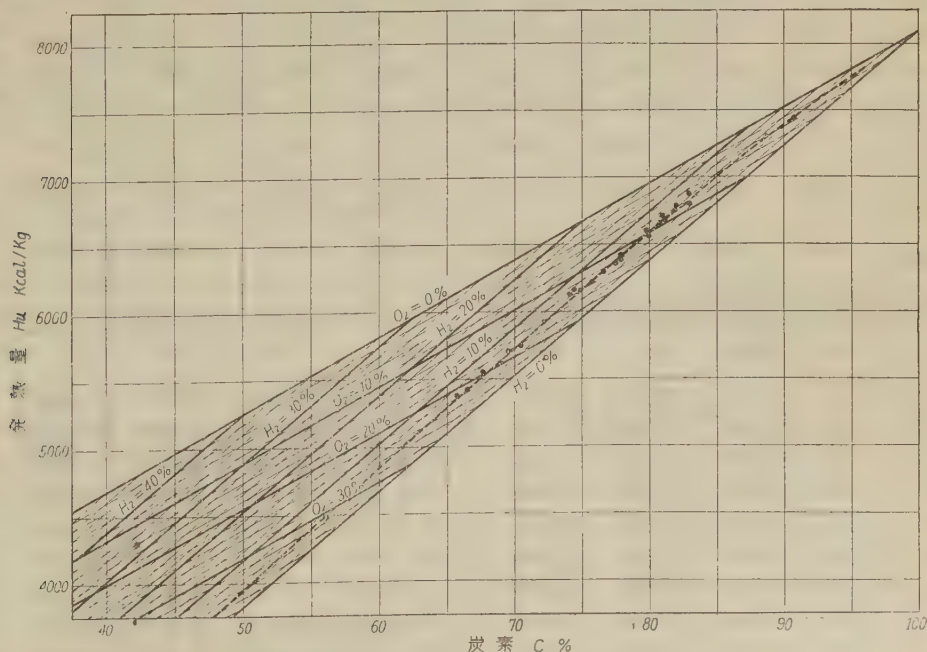
The viscosity, thermal conductivity and Prandtl number of combustion gases of anthracite, bituminous coal, lignite and peat are calculated by the same method as that of the author's first report. The weight compositions of these coal are shown in Table 1. The calculated results are shown in Tables 2 & 3.

The viscosity, thermal conductivity and Prandtl number at different excess-air factors n , were calculated for lower bituminous coal. The results are shown in Tables 10, 11, 13 and in Figs. 6, 7, 9.

1. 結 言

石炭の燃焼ガスの粘性係数，熱伝導率，及びプラント

ル数は，石炭を燃焼する蒸気罐及びガスタービン等の設計に当つて重要な数値である。石炭には種類が多く，その産出する場所に依りその成分の割合に大きな相違があ



第 1 図 本邦産石炭の主要成分と発熱量の関係

1) 日本大学工学部機械工学科講師。

る。特にその灰分及び水分による差が大きいが、燃焼ガスとして与えられる成分は、その可燃成分によるので可燃成分にのみについて比較を行つてみる。可燃成分としては炭素、水素、酸素、硫黄があるが、この内硫黄成分は燃えずに灰中に残留する部分が少なく、又一般に硫黄の成分割合は他の成分に比して小さいから、これを省いても全体に大した影響を与えないのでここでは省略する。今炭素、水素、酸素の重量組成 C, H, O を与えられてその高発熱量を求めるには次式によればよい。

$$H_0=8100C+2900\left(H-\frac{O}{8}\right) \text{ kcal/kg}$$

第 1 表 代 表 石 炭 の 成 分

	泥 炭	褐 炭	瀝 青 炭 I	瀝 青 炭 II	瀝 青 炭 III	瀝 青 炭 IV	半瀝青炭	半無煙炭	無 煙 炭
(乾燥燃料) 固 定 炭 素 %	30	45	55	60	65	70	78	86	93
揮 発 分 %	65	50	40	35	30	25	18	10	4
灰 分 %	5	5	5	5	5	5	4	4	3
固 定 炭 素 揮 発 分 %	0.462	0.90	1.37	1.73	2.16	2.80	4.33	8.60	23.50
可 燃 部 成 分 割 合									
C %	57.5	70.0	77.0	82.0	86.0	88.0	90.5	93.0	94.0
H %	5.5	5.0	5.5	6.0	5.5	5.0	4.5	3.5	3.0
$N+S$ %	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	1.5	1.5
O %	35.0	23.0	15.0	9.5	6.0	4.5	3.0	2.0	1.5
理 論 空 気 量 L_0 kg/kg	5.33	7.11	8.68	10.04	10.75	10.87	11.28	11.25	11.34
H_0 kcal/kg	3800	5170	6160	7490	8000	8000	8310	8170	8260
H_u kcal/kg	3460	4870	5850	7170	7720	7740	8080	7990	8100

第 2 表 燃焼ガス容積分割合 (1/n=1)

	CO ₂	H ₂ O	N ₂	A
泥 炭	0.1705	0.1504	0.6710	0.0081
褐 炭	0.1751	0.1062	0.7101	0.0086
瀝 青 炭 I	0.1716	0.0909	0.7287	0.0088
瀝 青 炭 II	0.1693	0.0820	0.7398	0.0089
瀝 青 炭 III	0.1916	0.0767	0.7230	0.0087
瀝 青 炭 IV	0.1759	0.0627	0.7524	0.0090
半瀝青炭	0.1791	0.0544	0.7574	0.0091
半無煙炭	0.1854	0.0434	0.7620	0.0092
無 煙 炭	0.1887	0.0377	0.7644	0.0092

第 3 表 燃焼ガス重量成分割合 (1/n=1)

	CO ₂	H ₂ O	N ₂	A
泥 炭	0.3044	0.0862	0.5992	0.0102
褐 炭	0.3068	0.0598	0.6227	0.0107
瀝 青 炭 I	0.3002	0.0511	0.6378	0.0109
瀝 青 炭 II	0.2960	0.0460	0.6470	0.0110
瀝 青 炭 III	0.3280	0.0421	0.6193	0.0106
瀝 青 炭 IV	0.3039	0.0348	0.6503	0.0110
半瀝青炭	0.3078	0.0300	0.6511	0.0111
半無煙炭	0.3157	0.0238	0.6494	0.0111
無 煙 炭	0.3199	0.0205	0.6485	0.0111

2. 石炭燃焼ガスの粘性係数及び熱伝導率

第1表の石炭が完全燃焼した場合 (空気過剰率 $n=1$)

に生ずる燃焼ガスの組成は, CO_2 , H_2O , N_2 , A でその容量成分割合, 重量成分割合は第2表, 第3表に示す如きものとなる. この数値を使用して第1報と同様に粘性係数は

第4表 石炭燃焼ガスの粘性係数

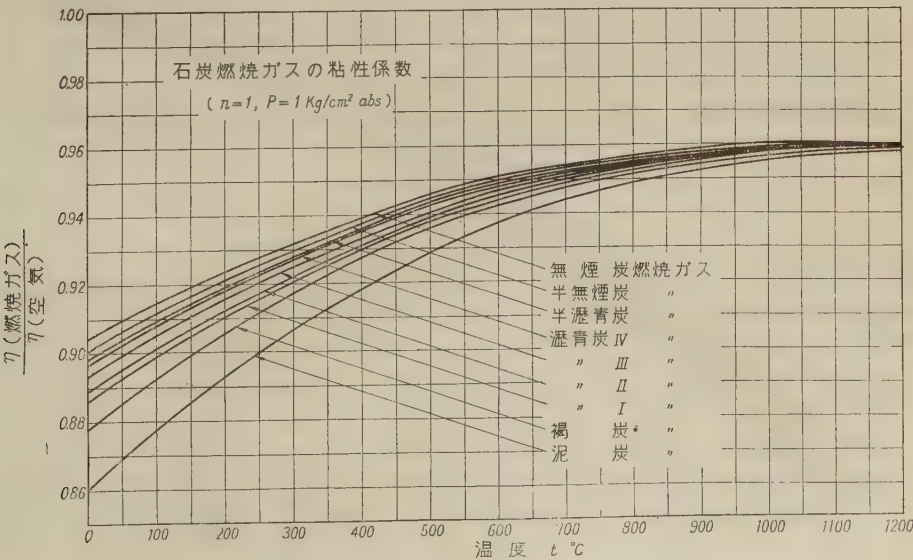
$\eta \text{ kg-s/m}^2 \text{ (} 1/n=1, p=1 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.)}$

t $^{\circ}\text{C}$	泥炭	褐炭	瀝青炭 I	瀝青炭 II	瀝青炭 III	瀝青炭 IV	半瀝青炭	半無煙炭	無煙炭
	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$
0	1.50	1.53	1.54	1.55	1.55	1.56	1.56	1.57	1.57
200	2.36	2.39	2.40	2.41	2.42	2.42	2.42	2.43	2.44
400	3.08	3.11	3.12	3.13	3.13	3.14	3.14	3.15	3.15
600	3.71	3.73	3.74	3.74	3.75	3.75	3.76	3.76	3.76
800	4.28	4.29	4.29	4.30	4.30	4.30	4.31	4.31	4.31
1000	4.80	4.81	4.82	4.82	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81
1200	5.27	5.29	5.30	5.30	5.30	5.31	5.31	5.31	5.31

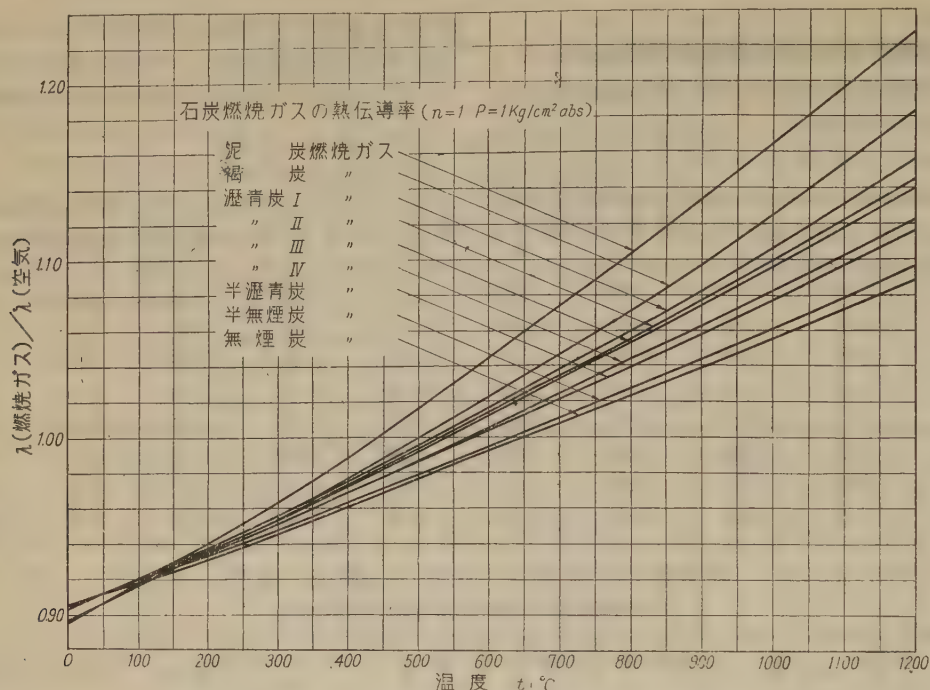
第5表 石炭燃焼ガスの熱伝導率

$\lambda \text{ kcal/m h}^{\circ}\text{C} \text{ (} 1/n=1, p=1 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.)}$

t $^{\circ}\text{C}$	泥炭	褐炭	瀝青炭 I	瀝青炭 II	瀝青炭 III	瀝青炭 IV	半瀝青炭	半無煙炭	無煙炭
0	0.0189	0.0188	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0190	0.0190
200	0.0318	0.0316	0.0316	0.0318	0.0318	0.0317	0.0317	0.0316	0.0316
400	0.0438	0.0437	0.0437	0.0435	0.0434	0.0433	0.0432	0.0431	0.0429
600	0.0552	0.0546	0.0543	0.0541	0.0540	0.0537	0.0533	0.0531	0.0529
800	0.0663	0.0644	0.0638	0.0637	0.0635	0.0632	0.0625	0.0619	0.0617
1000	0.0760	0.0730	0.0720	0.0708	0.0701	0.0700	0.0696	0.0690	0.0684
1200	0.0855	0.0824	0.0808	0.0797	0.0795	0.0781	0.0780	0.0763	0.0758



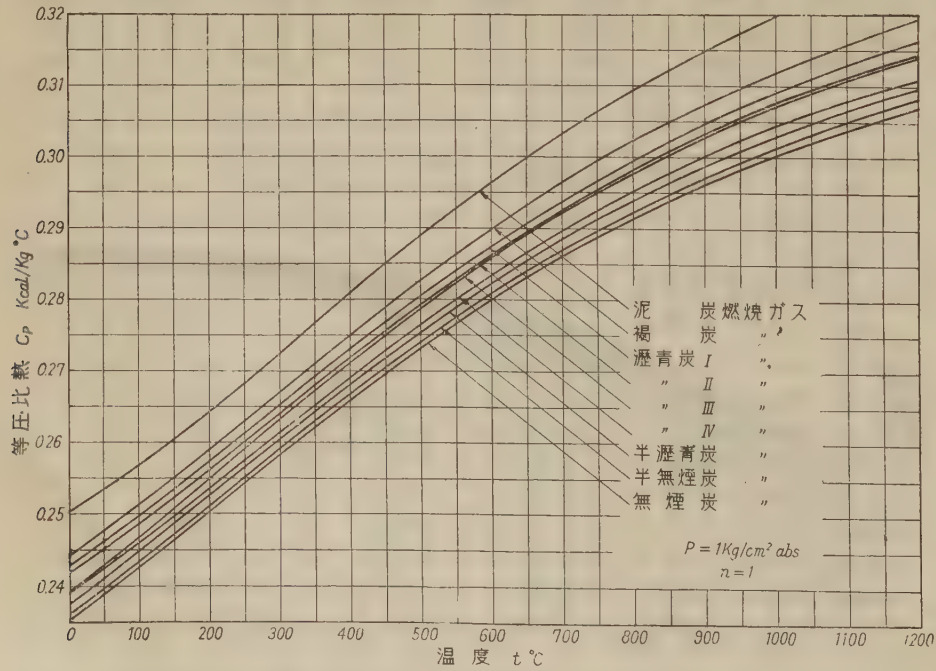
第 2 図 石炭燃焼ガスの粘性係数 η と空気の η との比



第 3 図 石炭燃焼ガスの熱伝導率と空氣の熱伝導率の比

Bromely-Wilke の式，熱伝導率は Lindsay-Bromley の式を使用して計算を行つた。又，この計算を行うに当つて必要な単体ガスの粘性係数，熱伝導率は，前報記載

の値を使用した。計算結果は第 4 表，第 5 表に示す如きもので，これと空氣の粘性係数，熱伝導率との比を取ると第 2 図，第 3 図に示す如くなる。



第 4 図 石炭燃焼ガスの等圧比熱

3. 石炭燃烧ガスのプラントル数

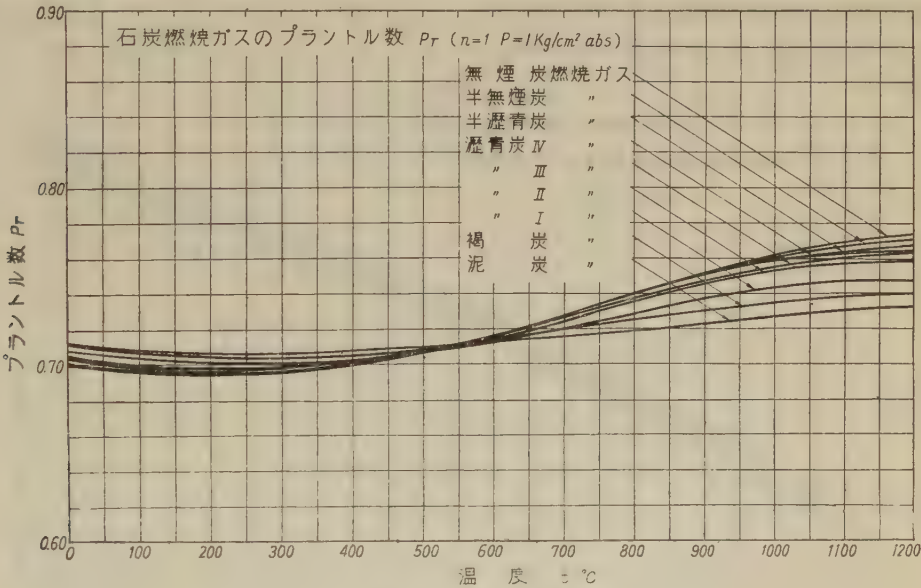
プラントル数を求める為に必要な燃烧ガスの定圧比熱

C_p は第6表，第5図に示す如き値になり，前の粘性係数，熱伝導率とよりプラントル数を求めると第7表，第5図の如き値が求まる．

第 6 表 石 炭 燃 焼 ガ ス の 定 圧 比 熱

C_p kcal/kg °C ($1/n=1$, $p=1$ kg/cm² abs.)

t °C	泥 炭	褐 炭	瀝 青 炭 I	瀝 青 炭 II	瀝 青 炭 III	瀝 青 炭 IV	半瀝青炭	半無煙炭	無 煙 炭
0	0.2501	0.2442	0.2427	0.2419	0.2395	0.2391	0.2378	0.2362	0.2353
200	0.2645	0.2589	0.2570	0.2559	0.2547	0.2534	0.2523	0.2509	0.2502
400	0.2814	0.2753	0.2732	0.2720	0.2714	0.2694	0.2683	0.2670	0.2661
600	0.2966	0.2900	0.2877	0.2863	0.2860	0.2836	0.2824	0.2811	0.2803
800	0.3095	0.3022	0.2997	0.2982	0.2979	0.2952	0.2940	0.2925	0.2916
1000	0.3198	0.3120	0.3092	0.3076	0.3072	0.3045	0.3031	0.3013	0.3004
1200	0.3279	0.3195	0.3165	0.3147	0.3142	0.3114	0.3099	0.3081	0.3071



第 5 図

第 7 表 石 炭 燃 焼 ガ ス の プ ラ ン ト ル 数 P_r

$(1/n=1, p=1$ kg/cm² abs.)

t °C	泥 炭	褐 炭	瀝 青 炭 I	瀝 青 炭 II	瀝 青 炭 III	瀝 青 炭 IV	半瀝青炭	半無煙炭	無 煙 炭
0	0.714	0.713	0.710	0.706	0.702	0.702	0.701	0.701	0.701
200	0.706	0.704	0.701	0.698	0.697	0.697	0.695	0.695	0.694
400	0.708	0.706	0.702	0.704	0.705	0.703	0.702	0.701	0.702
600	0.711	0.713	0.713	0.713	0.715	0.716	0.716	0.716	0.716
800	0.719	0.725	0.726	0.726	0.726	0.729	0.730	0.732	0.734
1000	0.728	0.734	0.745	0.754	0.755	0.755	0.756	0.758	0.760
1200	0.732	0.739	0.747	0.754	0.762	0.763	0.768	0.772	0.774

第9図である。

4. 低級瀝青炭の燃焼ガス

空気過剰率 n の変化に対し、燃焼ガスの粘性係数、熱伝導率プラントル数が如何に変わるかを知るために低級瀝青炭（瀝青炭Ⅰ）を使用して計算を行った。

この石炭の成分は次の如きものである。

揮発分 0.3922 固定炭素 0.5323

水分 0.0288 灰分 0.0467

固定炭素/揮発分=1.35

$C=0.6385$ $H=0.0461$ $O=0.2299$

$N=0.0058$ $S=0.0042$

$H_0=5,752 \text{ kcal/kg}$

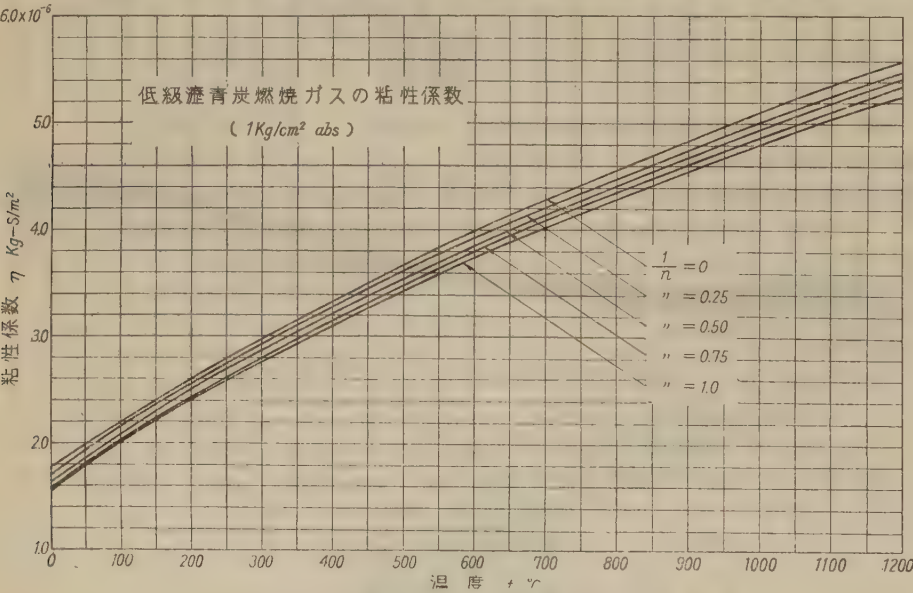
この石炭の燃焼ガスの容量成分割合、重量成分割合は空気過剰率 $n=1, 1.33, 2, 4$ 、に対して第8表、第9表の如くなる。この成分割合に依り計算した粘性係数は第10表、第6図、熱伝導率は第11表、第7図、定圧比熱は第12表、第8図、プラントル数は第13表、

第8表 低級瀝青炭燃焼ガスの容積成分割合

n	1	1.333	2	4
CO ₂	0.1813	0.1384	0.0939	0.0478
H ₂ O	0.0834	0.0637	0.0432	0.0220
N ₂	0.7264	0.7392	0.7524	0.7662
A	0.0088	0.0089	0.0091	0.0093
O ₂	0	0.0496	0.1011	0.1545

第9表 低級瀝青炭燃焼ガスの重量成分割合

n	1	1.33	2	4
CO ₂	0.3137	0.2456	0.1712	0.0900
H ₂ O	0.0464	0.0363	0.0253	0.0132
N ₂	0.6289	0.6562	0.6861	0.7185
A	0.0108	0.0113	0.0118	0.0124
O ₂	0	0.0503	0.1053	0.1656



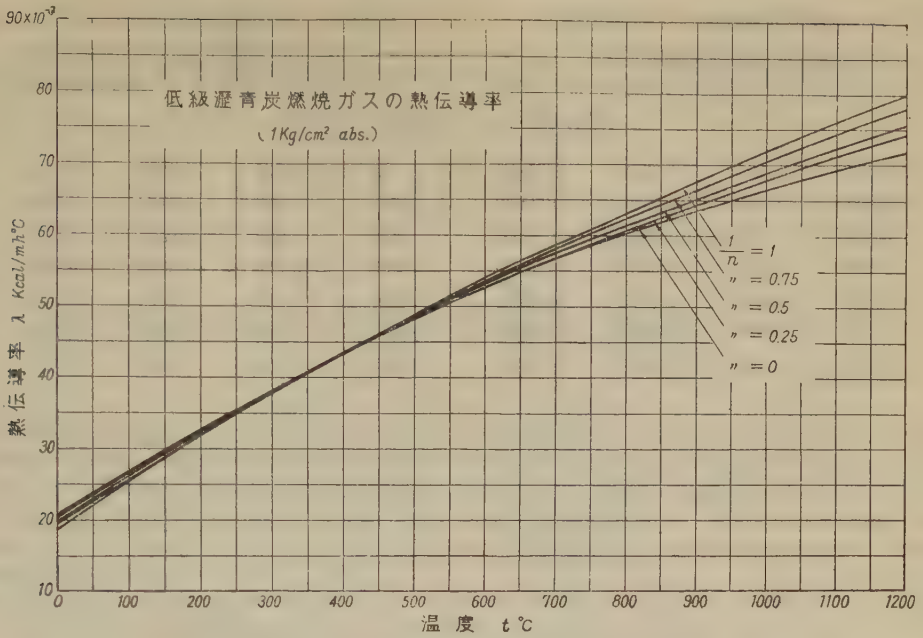
第 6 図

第10表 低級瀝青炭燃焼ガスの粘性係数
 $\eta \text{ kg-s/m}^2$ ($p=1 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$)

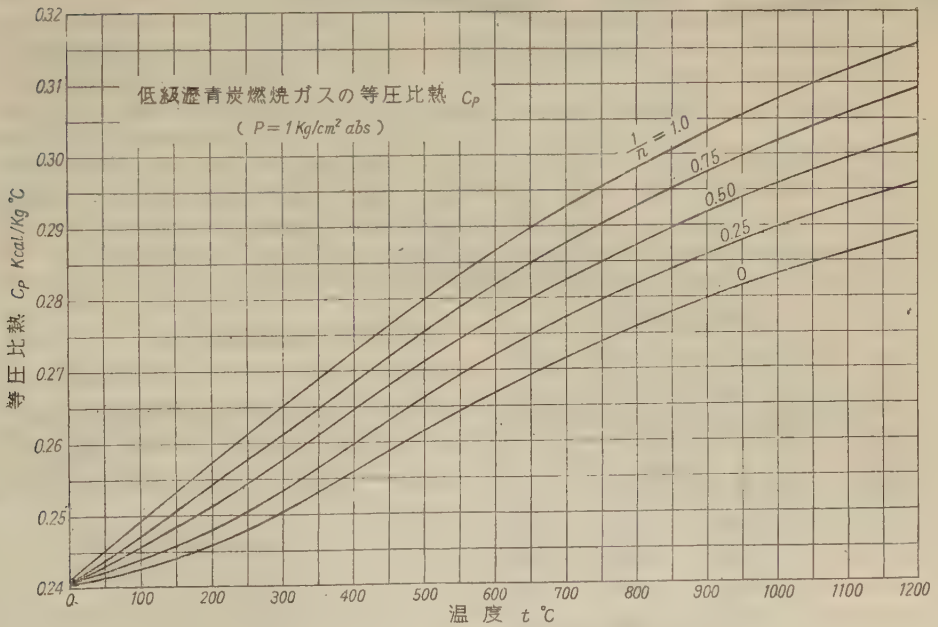
$t^\circ\text{C}$	n	1	1.33	2	4
		$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$
0		1.54	1.58	1.63	1.69
200		2.40	2.45	2.50	2.55
400		3.12	3.17	3.21	3.28
600		3.73	3.79	3.77	3.92
800		4.29	4.35	4.42	4.49
1000		4.81	4.87	4.94	5.01
1200		5.29	5.36	5.43	5.51

第11表 低級瀝青炭燃焼ガスの熱伝導率
 $\lambda \text{ kcal/m}^\circ\text{C}$ ($p=1 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$)

$t^\circ\text{C}$	n	1	1.33	2	4
0		0.0190	0.0194	0.0198	0.0204
200		0.0318	0.0321	0.0321	0.0327
400		0.0436	0.0437	0.0434	0.0439
600		0.0542	0.0539	0.0532	0.0535
800		0.0636	0.0629	0.0617	0.0616
1000		0.0715	0.0705	0.0687	0.0682
1200		0.0802	0.0784	0.0759	0.0748



第 7 図 低級瀝青炭燃焼ガスの熱伝導率



第 8 図 低級瀝青炭燃焼ガスの熱伝導率

5. 結 論

以上の結果を観察してみると、石炭燃焼ガスの粘性係数は石炭の種類が変わってもその値は余り変らない。即ち瀝青炭の燃焼ガスに対する数値で全部を代表しても大差はない。但し熱伝導率は低温に於てはほとんど変化はな

いが $1,000^\circ\text{C}$ 以上になるとその差は無視出来なくなる。

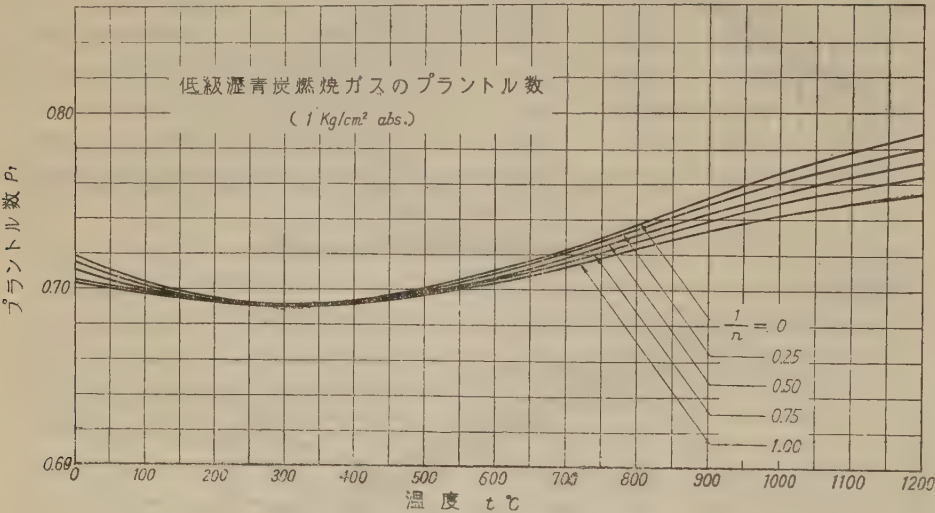
又石炭の水分の問題であるが、この計算は乾燥燃料に対して行つた値であるが低級瀝青炭の石炭までなら水分を入れてもたいした影響はない。泥炭になると、水分の割合が大きくなるので、その影響はかなり大きくなる。

第 12 表 低級瀝青炭燃焼ガスの定圧比熱
 C_p kcal/kg °C ($p=1$ kg/cm² abs.)

n t °C	1	1.33	2	4
0	0.2411	0.2407	0.2405	0.2402
200	0.2558	0.2532	0.2506	0.2477
400	0.2722	0.2682	0.2652	0.2599
600	0.2867	0.2819	0.2771	0.2719
800	0.2987	0.2934	0.2878	0.2820
1000	0.3081	0.3022	0.2962	0.2898
1200	0.3153	0.3092	0.3028	0.2961

第 12 表 低級瀝青炭燃焼ガスのプラントル数 P_r
($p=1$ kg/cm² abs.)

n t °C	1	1.33	2	4
0	0.703	0.705	0.712	0.716
200	0.693	0.693	0.695	0.695
400	0.693	0.693	0.691	0.695
600	0.704	0.707	0.708	0.710
800	0.725	0.727	0.730	0.736
1000	0.742	0.750	0.755	0.760
1200	0.754	0.762	0.772	0.780



第 9 図 低級瀝青炭燃焼ガスのプラントル数 P_r

第 14 表 空気の粘性係数, 熱伝導率,
定圧比熱及びプラントル数
($p=1$ kg/cm² abs.)

t °C	粘性係数 η kgs/m ²	熱伝導率 λ kcal/mh°C	定圧比熱 C_p kcal/kg°C	プラント ル 数 P_r
0	1.74×10^{-6}	0.0211	0.2401	0.720
200	2.64×10^{-6}	0.0338	0.2449	0.690
400	3.36×10^{-6}	0.0447	0.2555	0.692
600	3.95×10^{-6}	0.0534	0.2665	0.711
800	4.51×10^{-6}	0.0602	0.2759	0.736
1000	5.03×10^{-6}	0.0655	0.2831	0.766
1200	5.37×10^{-6}	0.0696	0.2890	0.788

の値の変化と直線的関係にあるので $\eta_{gn=1}$, $\lambda_{gn=1}$, $C_{pgn=1}$, $P_{rgn=1}$ を前に示した空気過剰率 $n=1$ の場合の燃焼ガスの粘性係数, 熱伝導率, 定圧比熱, プラントル数とし, 空気のそれを η_a , λ_a , C_{pa} , P_{ra} とすると空気過剰率 n なる燃焼ガスに対しては近似的に次式によつてもとめられる。

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_a + (\eta_{gn=1} - \eta_a)1/n \\ \lambda &= \lambda_a + (\lambda_{gn=1} - \lambda_a)1/n \\ C_p &= C_{pa} + (C_{pgn=1} - C_{pa})1/n \\ P_r &= P_{ra} + (P_{rgn=1} - P_{ra})1/n\end{aligned}$$

ここに空気の粘性係数, 熱伝導率, 比熱プラントル数は第 1 報に示した如く第 14 表の如き値をとる。

低級瀝青炭の燃焼ガスについて空気過剰率 n が変つた場合の粘性係数, 熱伝導率, 定圧比熱プラントル数は前に示したが, 他の石炭に対してはこれらの値が大體 $1/n$

スルホン置換法によるクレゾール異性体の 分離に関する研究

(1954 年 10 月 31 日受理)

穴 沢 一 郎

The Separation of the Isomeric Cresols, by the Cresol Sulfonic Acids

By Ichiro ANAZAWA

A number of methods have been proposed for separating *m*- and *p*-cresols from their mixtures, but the most practical of these depend on the differing properties of the cresol sulphonic acids, or on the formation of addition compounds of *m*-cresol with urea. The sulphonation of the cresol mixtures yields the mono acids; when steam distillation is applied, the meta acid hydrolyzes to the cresol at 120°C to 130°C., but the para acid does not decompose until a temperature of 140°C is reached.

The *m*-cresol is selectively sulphonated, the unreacted *p*-cresol is recovered by solvents (benzol), and the *m*-cresol is hydrolyzed separately; and another method makes use of the fact that a variant of the above procedure involved forms an ammonium salt of the meta acid which is separated from the *p*-cresol by crystallization. Research was carried out under favourable conditions on this method.

The experiments were carried out with the following results.

- 1) Reaction-temperature is 40°C
- 2) Quantity of sulphuric acid (98%) for reaction is 0.5~0.8 mol for 1 mol of sample.
- 3) Reaction-time is 4 hrs.
- 4) Quantity of water to dilute the cresol sulphonic acids with water, is 60~80% (w/w) for sample.
- 5) The benzol to extract unreacted *p*-cresol, is equivalence for sample.
- 6) The calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is about 25% for the aqueous solution of sulphonic acid.
- 7) The ammonium sulphate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ is about 20% for the aqueous solution of sulphonic acid.

1. 結 言

クレゾール異性体の分離法として工業化の可能性あるものはスルホン置換法である。この方法はメタクレゾールが他の異性体よりスルホン置換が容易であり、且そのスルホン酸の加水分解温度が他の異性体スルホン酸の分解温度と異なる事を利用しメタクレゾールを分離する方法である。スルホン化による分離研究の報告はラシツヒ氏 (1899年) の特許申請以来多数あるが¹⁻⁶⁾。その反応条件について検討した報告は殆どなく、工業化を目的とした場合その条件を詳細に検討する必要を感じ、反応温度、硫酸使用量、反応時間、未反応クレゾール回収用ベンゼールの使用量、第1次スルホン化後の稀釈用水使用量について詳細に検討した。又実験にはスルフォ

ン置換後、アンモニウム塩法を併用した。即ちクレゾールスルホン酸のアンモニウム塩が各異性体によりその溶解度が異なるから、スルホン酸塩を製し、メタクレゾール・スルホン酸塩だけが晶出する方法で再結晶し、この塩を加水分解するに当り、加水分解温度の異なる理を応用したものである。この併用法による品位上昇率、収量を検討した。

2. 実験の部

(1) (1)試 料: 市販 1 号メタクレゾールを減圧割温蒸留し試料を調製した。割温蒸留塔は内径 4 cm, 高さ 2 m のガラス製円塔で、これをアスベストにて覆い、その上にニクロムリボン (200 W) を巻き、僅かに電流を通じて保温し、内部には内径 0.3 cm のガラス管を

1) 日本大学工学部工業化学科専任講師。

0.5~0.7 cm の長さに切断せるものを蒸留口の下方 20 cm 迄充填し、試料は 2I のガラス製ナス型フラスコに 1.5I 宛を 1 回分として仕込み、油浴にて加熱し、約 200 cc 宛溜出せしめ分別した。1 回の分溜にてメタ分最高 60% 附近のものが得られた。

(2) メタクレゾール定量法⁹⁾ 試料 1 gr を 50 cc の三角フラスコに秤取し、これに 2 cc の発煙硫酸(20% SO₃ 含有)を加え、良く振盪混和し、フラスコ内容物を粘稠ならしめ、次にこれに濃硝酸(比重 1.40) 12 cc を速かに注加し、そのままこれを湯浴上に加温すれば激しい反応が起り褐色煙を発生する。煙の発生が止んだ後、内容物を 10 cc の水を入れた蒸発皿に移す。フラスコは更に 5 cc の水を以て洗滌し、ことごとく蒸発皿に集め、2 時間放冷し析出した難溶性のトリニトロ・メタクレゾールの結晶塊をガラス棒にて細く砕き、ガラス濾過器にて吸引濾過する。蒸発皿は水 5 cc 宛を以て 2 回洗滌し、得たる生成物を 95°~100°C にて乾燥秤量する。実験上、該生成物 1 gr はメタクレゾール 0.56 gr に該当する。

(3) 実験方法 試料クレゾール 1 モルに対し濃硫酸(98%) 0.8 モルを反応温度 40°C 以下にて作用させ、これに硫酸と同量の水を加えて稀釈し、ベンゾールで未反応クレゾールを回収する。これは減圧蒸留の仕込みに戻す。この工程を第 1 次スルホン置換法と称する。上記スルホン置換にて得られたスルホン酸水溶液は 100°C 近辺に加熱した後、120°C の過熱水蒸気を吹込み 120~130°C で加水分解する。

溜出物から水の層を分ち、油層を蒸溜、その他の方法で脱水する。これを第 1 次加水分解と称する。第 1 次加

水分解で得られたメタクレゾールにつき、第 1 次スルホン置換と同様に処理する。この工程を第 2 次スルホン置換と称し、ここに得られた未反応クレゾールはこれを第 1 次スルホン置換の原料に戻す。第 2 次スルホン置換で得られたメタクレゾール。スルホン酸水溶液はアルカリ性となる迄消石灰を加えて濾過し、温水にて水洗し、その濾液に最早沈澱の生じなくなる迄硫酸アムモニウムを加え、濾過水洗し濾液を飽和の程度迄濃縮し、必要に応じ傾斜又は濾過により濃縮中に生じた硫酸石灰の沈澱を除き放冷し、アンモニウム塩の板状結晶又は結晶塊が十分生じた時分別する。この工程をアンモニウム塩生成と称する。かくして得られた結晶を母液より分取するのであるが、この際の結晶生成量が僅少の場合は母液と共に半量の濃硫酸を加え前述の如く加水分解する。この工程を第 2 次加水分解と称する。

3. 実験結果

(1) 反応温度に就いて 実験方法は 37.8% メタクレゾール 40 gr を攪拌しつつ 98% 硫酸 18 g を加え、3 時間一定温度に保つた後、水 25 cc を加えて稀釈し、未反応クレゾールを 40 cc のベンゾールで抽出し、水溶液の部分を 130°C 以上にならぬ様にして加水分解し、溜出物を分別しメタクレゾールの部分を脱水してメタ分を定量する。一方未反応クレゾール溶液は蒸溜によりベンゾールの部分を除き、残りを蒸発して未反応クレゾールとした。この実験結果を第 1 表に示す。

この反応温度と収量の関係及び品位上昇率との関係を図示すれば第 1 図となる。又アンモニウム塩生成法を行つた場合のそれを図示すれば第 2 図となる。尚反応温度

第 1 表
実験例 1 反応温度による影響

実験種類		第 1 次 スルホン置換	第 2 次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	40	17	スルホン酸水溶液(gr)	35
	メタ分(%)	37.8	51.8		
硫酸使用量(gr)		18	7	消石灰の使用量(gr)	10
稀釈用水(cc)		25	10	硫酸の使用量(gr)	10
抽出用ベンゾール(cc)		40	20	結晶 + 濾液量(gr)	37
回収ベンゾール(cc)		36	15	硫酸の使用量(gr)	17
未反応回収クレゾール(gr)		15	6	精製・メタ クレゾール	収量(gr) メタ分(%)
反応温度(°C)		30	30		
					3
					79.4

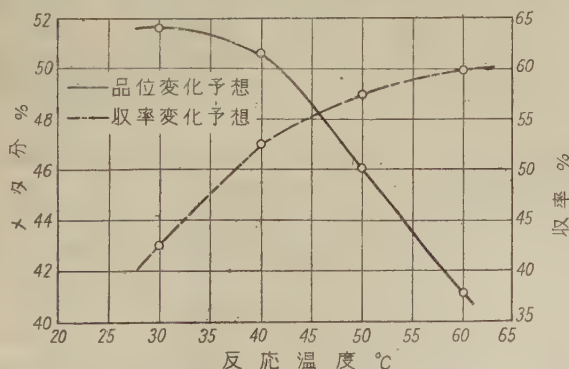
9) 和田・川合氏：工化誌，37，1534 (1934)

実験例 2

実験種類		第 1 次 スルホン置換	第 2 次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr) メタ分(gr)	40 37.8	21 50.6	スルホン酸水溶液(gn)	46
硫酸使用量(gr)		18	10	消石灰の使用量(gr)	12
稀釈用水(cc)		25	10	硫酸の使用量(gr)	10
抽出用ベンゾール(cc)		40	20	結 晶 量(gr)	45
回収ベンゾール(cc)		30	15	硫酸の使用量(gr)	22
未反応回収クレゾール(gr)		10	6	精製メタ クレゾール	収 量(gr) メタ分(%)
反 応 温 度(°C)		40	40		5 72.8

実験例 3

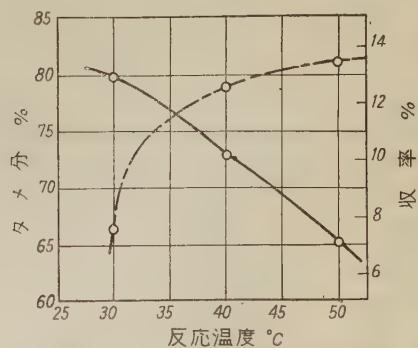
実験種類		第 1 次 スルホン置換	第 2 次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr) メタ分(%)	40 37.8	23 46	スルホン酸水溶液(gr)	43
硫酸使用量(gr)		18	10	消石灰の使用量(gr)	10
稀釈用水(cc)		25	10	硫酸の使用量(gr)	10
抽出用ベンゾール(cc)		40	20	結 晶 量(gr)	58
回収ベンゾール(cc)		35	19	硫酸の使用量(gr)	25
未反応回収クレゾール(gr)		10	7	精製メタ クレゾール	収 量(gr) メタ分(%)
反 応 温 度(°C)		50	50		5.2 65



第1図 反応温度と収量及び品位上昇率との関係

20°C の場合はスルホン化著しく低下し、又 60°C の場合は品位上昇率著しく低下し、それ以上の検討は不要と察し中止した。以上の実験結果より品位上昇率及び収率を併せ考慮しスルホン化反応温度は 40°C が適当と認められる。

(2) 硫酸使用量について 硫酸量の影響は反応温度



第2図 アンモニウム塩生成法を行った場合の反応温度と収量(実線—品位変化予想)及び品位上昇率の関係(鎖線—収率変化予想)

及び硫酸濃度を適当に選べば、使用する硫酸量の少ない程よい筈であるが、最適使用量を求める為、98%硫酸を用いその量を試料 1 モルに対し 0.5, 0.8, 1 モルについて反応温度 40°C として実験した。その結果を第2表に示す。

この硫酸使用量と収量の関係及び品位上昇率との関係

第 2 表
実 験 例 4 硫酸使用量による影響

実 験 種 類		第 1 次 スルホン置換	第 2 次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	15	スルホン酸水溶液(gr)	32
	メタ分(%)	52	41.8		
硫酸使用量(gr)		12.5	6	消石灰の使用量(gr)	10
稀釈用水(cc)		30	10	硫安の使用量(gr)	8
抽出用ベンゾール(cc)		50	20	結 晶 量(gr)	32
回収ベンゾール(cc)		40	16	硫酸の使用量(gr)	16
未反応回収クレゾール(gr)		30	9		
クレゾールに対する 硫 酸 量		0.5モル	0.5モル	精製・メタ 収 量(gr)	3
				クレゾール メタ分(%)	88.4

実 験 例 5

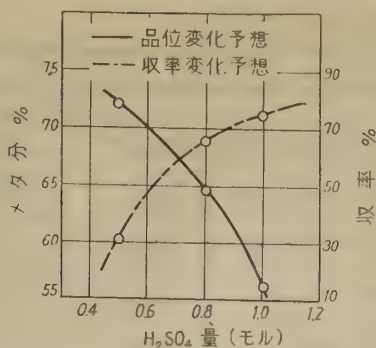
実 験 種 類		第 1 次 スルホン置換	第 2 次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	32	スルホン酸水溶液(gr)	63
	メタ分(%)	52	64.3		
硫酸使用量(gr)		20	14	消石灰の使用量(gr)	15
稀釈用水(cc)		30	15	硫安の使用量(gr)	15
抽出用ベンゾール(cc)		50	30	結 晶 量(gr)	58
回収ベンゾール(cc)		40	24	硫酸の使用量(gr)	25
未反応回収クレゾール(gr)		15	12		
クレゾールに対する 硫 酸 量		0.8モル	0.8モル	精製・メタ 収 量(gr)	10
				クレゾール メタ分(%)	84.1

実 験 例 6

実 験 種 類		第 1 次 スルホン置換	第 2 次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	37	スルホン酸水溶液(gr)	65
	メタ分(%)	52	56		
硫酸使用量(gr)		25	15	消石灰の使用量(gr)	20
稀釈用水(cc)		30	15	硫安の使用量(gr)	15
抽出用ベンゾール(cc)		50	40	結 晶 量(gr)	70
回収ベンゾール(cc)		41	35	硫酸の使用量(gr)	30
未反応回収クレゾール(gr)		12	15		
クレゾールに対する 硫 酸 量		1 モル	1 モル	精製・メタ 収 量(gr)	8
				クレゾール メタ分(%)	77.9

を図示すれば第3図となり、アンモニウム塩生成法を行った場合は第4図となる。以上の実験結果より考察すれ

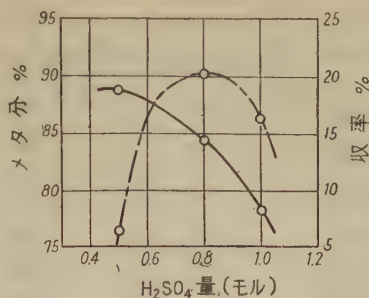
ば原料クレゾール1モルに対し 98% 硫酸0.8モルが適当である。



第3図 硫酸使用量と収量の関係及び品位上昇率との関係

(3) 反応時間について 反応時間はある程度まで増加につれスルホン化も進行するが、その最適条件の検討を試みた。反応温度を 40°C とした時の結果を第3表に示す。

この反応時間と収量との関係、及び品位上昇率との関



(実線:品位変化予想)
鎖線:収率変化予想

第4図 アンモニウム塩生成法を行つた場合の硫酸使用量と収量の関係及び品位上昇率との関係

係を図示すれば第5図となり、アンモニウム塩生成法を行つた場合は第6図となる。

以上の実験結果から考察するに、反応温度を 40°C とした場合、反応時間2時間以上にては収率、品位上昇率に大きな影響は見られない。Campbell 氏⁴⁾は6時間を

第 3 表

実験例 7 反応時間による影響

実験種類		第1次 スルホン置換	第2次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	31	スルホン酸水溶液(gr)	70
	メタ分(%)	44	52	消石灰の使用量(gr)	18
硫酸使用量(gr)		22	13.5	硫安の使用量(gr)	15
稀釈用水(cc)		30	18	結晶量(gr)	55
抽出用ベンゾール(cc)		50	30	硫酸の使用量(gr)	25
回収ベンゾール(cc)		43	27	精製・メタ クレゾール	収量(gr) メタ分(%)
未反応回収クレゾール(gr)		20	10		10 70.2
反応時間(hrs)		2	3		

実験例 8

実験種類		第1次 スルホン置換	第2次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	32	スルホン酸水溶液(gr)	65
	メタ分(%)	44	53	消石灰の使用量(gr)	15
硫酸使用量(gr)		22	15	硫安の使用量(gr)	13
稀釈用水(cc)		30	15	結晶量(gr)	53
抽出用ベンゾール(cc)		50	30	硫酸の使用量(gr)	25
回収ベンゾール(cc)		40	21	精製・メタ クレゾール	収量(gr) メタ分(%)
未反応回収クレゾール(gr)		16	12		10 72.9
反応時間(hrs)		3	3		

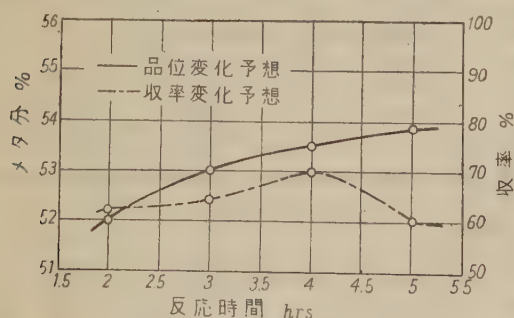
4) A. F. Campbell, Ind. Eng. Chem. 14, 732 (1922)

実験例 9

実験種類		第 1 次 スルホン置換	第 2 次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	35	スルホン酸水溶液(gr)	68
	メタ分(%)	44	53.5	硝石灰の使用量(gr)	15
硫酸使用量(gr)		22	15	消安の使用量(gr)	15
稀釈用水(cc)		30	20	結晶量(gr)	75
抽出用ベンゾール(cc)		50	35	硫酸の使用量(gr)	25
回収ベンゾール(cc)		39	28	精製・メタ クレゾール メタ分(%)	10
未反応回収クレゾール(gr)		15	15		73.0
反応時間(hrs)		4	3		

実験例 10

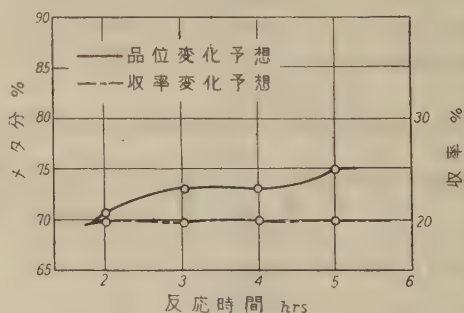
実験種類		第 1 次 スルホン置換	第 2 次 スルホン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	30	スルホン酸水溶液(gr)	66
	メタ分(%)	44	53.9	消石灰の使用量(gr)	15
硫酸使用量(gr)		22	14	硫安の使用量(gr)	15
稀釈用水(cc)		30	15	結晶量(gr)	62
抽出用ベンゾール(cc)		50	30	硫酸の使用量(gr)	25
回収ベンゾール(cc)		41	24	精製・メタ クレゾール メタ分(%)	10
未反応回収クレゾール(gr)		15	11		75
反応時間(hrs)		5	3		



第5図 反応時間と収量の関係及び品位上昇率との関係

適当としたが3時間宛2回スルホン化した方がよい。

(4) 未反応試料回収用としてのベンゾールの使用量の影響について 第1次スルホン化, 第2次スルホン化の際, 未反応クレゾールの回収に, ベンゾールを用いるが, このベンゾール量がスルホン酸の量, 及びそのメタクレゾール上昇率に如何に影響を及ぼすかを検討した。操作は(1), (2), (3)の最適条件をとり, ベ



第6図 アンモニウム塩生成法を行つた場合の反応時間と収量の関係及び品位上昇率との関係

ンゾール量を種々変化させて行つた。その実験結果を第4表に示す。

このベンゾール使用量と品位上昇との関係及び収率との関係を図示せば第7図となり, アンモニウム塩生成を行つた場合は第8図となる。

以上の実験結果より考察するに, ある程度まではベンゾール使用量の増加に従い品位上昇が認められ, 収率も

第4表 未反応試料回収用とにのベンゾール使用量の影響

実験例 11

実験種類		第1次 スルフォン置換	第2次 スルフォン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	30	スルフォン酸水溶液(gr)	63
	メタ分(%)	70	84.5	消石灰の使用量(gr)	20
硫酸使用量(gr)		20	12	硫酸の使用量(gr)	10
稀釈用水(cc)		30	18	結晶量(gr)	50
抽出用ベンゾール(cc)		50	30	硫酸の使用量(gr)	14
回収ベンゾール(cc)		41	22	精製・メタ クレゾール	修量(gr) メタ分(%)
未反応回収クレゾール (gr)		18	10		7.5
回収クレゾール・メタ分(%)		55.4	62.6		90.5

実験例 12

実験種類		第1次 スルフォン置換	第2次 スルフォン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	28	スルフォン酸水溶液(gr)	60
	メタ分(%)	70	78.1	消石灰の使用量(gr)	20
硫酸使用量(gr)		20	12	硫酸の使用量(gr)	10
稀釈用水(cc)		30	15	結晶量(gr)	36
抽出用ベンゾール(cc)		40	30	硫酸の使用量(gr)	18
回収ベンゾール(cc)		32	23	精製・メタ クレゾール	収量(gr) メタ分(%)
未反応回収クレゾール(gr)		18	11		6.5
回収クレゾール・メタ分(%)		58	60.6		86.7

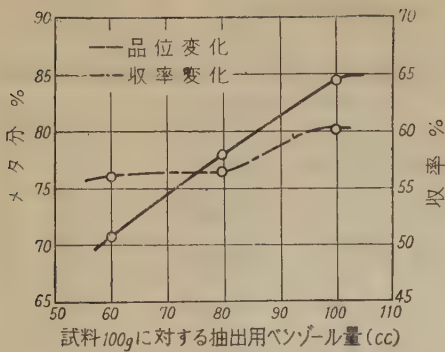
実験例 13

実験種類		第1次 スルフォン置換	第2次 スルフォン置換	アンモニウム塩生成	
試料クレ ゾール	使用量(gr)	50	28	スルフォン酸水溶液(gr)	58
	メタ分(%)	70	70.6	消石灰の使用量(gr)	20
硫酸使用量(gr)		20	12	硫酸の使用量(gr)	10
稀釈用水(cc)		30	15	結晶量(gr)	60
抽出用ベンゾール(cc)		40	30	硫酸の使用量(gr)	30
回収ベンゾール(cc)		24	23	精製・メタ クレゾール	収量(gr) メタ分(%)
未反応回収クレゾール(gr)		13	12		7.7
回収クレゾール・メタ分(%)		61.7	62.2		83.2

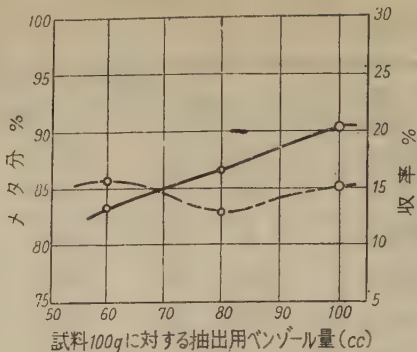
稍良好である。その適量は原料クレゾールの品位、その他の条件にも関係するが仕込クレゾールと同量位が適当である。

(5) 第1次スルフォン置換後の稀釈用水量の影響に就いて 原料クレゾールを硫酸によりスルフォン化され

た生成スルフォン酸は非常に粘稠で、未反応クレゾールをベンゾールで回収する際接触抽出が困難の為、予め水により稀釈して行う必要がある。この際の稀釈用水量がメタクレゾールの品位に如何なる影響を与えるかに就いて検討した。



第7図 ベンゾール使用量と収量の関係及び品位上昇率との関係



第8図 アンモニウム塩生成法を行つた場合のベンゾール使用量と収量の関係及び品位上昇率との関係

(実線:品位変化予想)
(鎖線:収率変化予想)

その実験結果を第5表及第6表に示す。
第5表の稀釈用水使用量と品位上昇との関係及び収率との関係を図示すれば第9図となり、又第6表のそれを図示すれば第10図となる。
すなわちこの場合は硫酸の使用量にも左右される為、その使用量を0.5モルの場合と、0.8モルの場合とに分け稀釈用水の量を種々変化させて検討したが、この程度

の硫酸量の相違では大差がない。仕込原料の60~70%程度の水を加えて稀釈するのが、未反応クレゾールをベンゾールで抽出する際抽出し易く、製品の品位上昇率は大きな影響はないが収量がよい結果を得られた、又原料の品位にも関係あるが40~60%程度のものを試料とした場合は、これまた大きな影響はみられなかつた。

第5表 第1次スルフォン置換後の稀釈用水使用量の影響

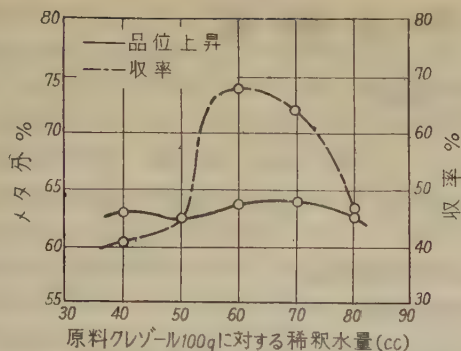
硫酸 0.5 モル用いた場合。

実験種類		実験例14	実験例15	実験例16	実験例17	実験例18	実験例19	実験例20
試料クレゾール	使用量(gr)	50	50	50	50	50	50	50
	メタ分(%)	44	44	44	44	44	60.1	60.1
稀釈用水(cc)		20	25	30	35	40	20	40
抽出用ベンゾール(cc)		40	40	40	50	40	50	50
製品クレゾール	収量(gc)	20	22	34	32	23	9	16
	メタ分(%)	62.8	62.5	63.2	63.6	62.7	78.5	78.7

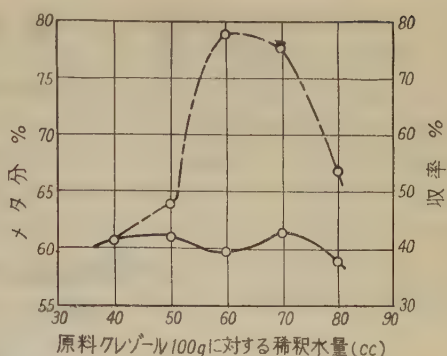
第6表 第1次スルフォン置換後の稀釈用水使用量の影響

硫酸 0.8 モル用いた場合。

実験種類		実験例21	実験例22	実験例23	実験例24	実験例25
試料クレゾール	使用量(gr)	50	50	50	50	50
	メタ分(%)	44	44	44	44	44
稀釈用水(cc)		20	25	30	35	40
抽出用ベンゾール(cc)		40	40	40	40	40
製品クレゾール	収量(gr)	21	24	39	38	27
	メタ分(%)	60.6	61.0	59.7	61.2	58.5



第9図 第5表の稀釈用水使用量と品位上昇率及び収率との関係



第10図 第6表の稀釈用水使用量と品位上昇率及び収率との関係(—品位変化予想, ---収率変化予想)

4. 総 括

スルホン置換法の反応条件を検討するには第1次スルホン置換の実験結果にて充分故、これにて最適条件を求めた。仕込原料のクレゾールは減圧割温蒸溜により充分品位を上昇せしめメタ分として50%以上のものを用うるのが反応操作上又収率上得策である。スルホン化反応は発熱反応故、最適反応温度保持には注意を要する。仕込クレゾールが少量ではスルホン化の際、攪拌しながら硫酸を添加するも反応不均一となり、収率にも大きく影響されるからメタ分50%程度のものを原料とすれば、100 gr 以上を1回の試料とす可きであろう。本実験には大部分を50 gr を1回の試料とした為、表に示さなかつた多くの失敗せる実験例がある。実験結果の表示中多少結論と適合せぬものがあるのはこの為である。スルホン酸アンモニウム塩生成法による分離は低品位の試料に於ては収率悪く、メタ分80%程度の高品位のものを試料とする場合に適する。また、スルホン置換法に於ては、かかる高品位のものを試料としても、品位上昇率著しく低く適当ではない。アンモニウム塩生成法の場合、スルホン酸液の中和に用うる消石灰は粉末として用い、スルホン酸の1/4程度、また硫酸アンモニウム(表には硫酸と略示)は1/5程度で充分である。この硫酸量が過剰の際は、スルホン酸アンモニウム液を濃縮して結晶析出の際、突沸現象等が起り、操作困難を呈する。スルホン化反応に於て最適条件として前記の実験結果より、反応温度40°C、硫酸としては98%硫酸0.5~0.8モル、反応時間4時間程度、未反応クレゾ

ール抽出用ベンゾールの適量は仕込原料クレゾールと同量程度、稀釈水の量は仕込原料の60~70%が適当である。

本研究に当り御指導、御べんたつを戴いた市川良正教授に、また実験を担当し終始本研究に協力下さつた片桐朝良君に厚く感謝の意を表する。

引 用 文 献

- 1) Raschig; D. R. P. 112,545 (1899)
- 2) Raschig; D. R. P. 114,975 (1899)
- 3) Raschig; Angew. ch. 13,759 (1900)
- 4) A. F. Campbell; Ind. Eng. Chem. 14,732(1922)
- 5) H. Bruchner; Z. Anal. Chem. 75,289 (1928)
- 6) 中土晃; 科工, 8, 405 (1933)
- 7) P. P. Scrigin, A. A. Simanovskaya, N. G. Vereschagina; J. Applied Chem. (U. S. S. R.) 9, 1442 (1936)
- 8) 川崎京市; 有機合成協誌, 6, 84, (1948)

その他、特許

- 日特. 4415 (1900)
D. R. P. 148,703 (1902)
D. R. P. 245,892
D. R. P. 247,272
D. R. P. 268,780
D. R. P. 281,054
B. P. 18,334
B. P. 25,166
B. P. 25,269

蒸気その他ガスを生じたため比重が減少しているためか等のことが考えられる。湧出地点が前述のように小扇状地をなしているように見えることから (a) のことは或程度その可能性がある。(b) についてはこの温泉が pH8 であつてアルカリ泉の常として一般に 90°C 以上のような高温を期待し難いように思われ、従つてその可能性が少いように思われる。しかし熱海温泉の場合は石膏食塩泉で pH8± であるにもかかわらず泉温 90~100°C を示している例もある。

各プールによつて水位が異なるけれども湧出量と引湯量の関係が明かでないから、そのすべてが地質又は湧出量の差に基くかどうか明かでない。然しプール F は水位が最も高く同時に温度が高い。湧出量は今回は調査出来なかつたが恐らく他のプールよりも多い。従つてプール F では地層の透水率及び泉温の高いために比重及び粘性の低下その他の諸条件が相俟つて、優勢な温泉の通路を生じているものと考えられる。

ボーリング (湯ノ湖畔) 地点の石英粗面岩は新鮮で温泉による変質を受けていない。然し風化石英粗面岩の直下で 73°C の孔底温度を記録されているので、この地点からあまり遠くない石英粗面岩中に源泉があるものと思われる。泉質は他の源泉よりも僅かに Na^+ が多く、pH が高い。共同浴場附近は自然湧出で湯量少く温度も高くない。然しこの附近は石英粗面岩が相当強く変質されていることから見て、深部にもつと有力な泉源が求められる可能性がある。湯本源泉は砂質堆積物からなる沖積小扇状地に浅いプールを設け、自然湧出する温泉を利用している。泉温は 65~68°C を示し水位は引湯中にもかかわらず沼面よりも高く、最も高いものは +1.05m に達している。基盤の石英粗面岩は扇状地堆積物の砂礫粘土で、その厚さは恐らく 30 m 以内であろう。この附近は沼地を囲んで馬蹄形の地形を示しているが、これは温泉作用のため変質した軟弱な岩石が侵蝕を受けて生じたものらしい。従つてこの附近の石英粗面岩内には有力な泉源が存在するものと想像される。 Na^+ が僅かに少く pH が低い。湧出量は各源泉中最も豊富である。

4. 泉質の分析に就いて

湯元に湧出する源泉に就て化学分析を行つた。成績は第2表に示す如くである。

湯元温泉群の泉質は何れも硫酸塩類を母体とする硫酸泉であつて、pH は 8 附近の弱アルカリ性を示し、著量の遊離硫化水素を含有している。調査の対象となつた源泉はほぼ南北に一例に分布している八カ所であり、泉温、

蒸気残渣、 pH 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 Cl^- 、 SO_4^{--} 、 HCO_3^- 、 HS^- 及び H_2SiO_3 に就いて分析を行つた。又源泉附近の湧出水の分析をも行つた。

以下、各項目に就いて記述する。

(イ) 泉温及び蒸気残渣

南部の源泉は、一般に泉温低く北部になるに従つて高温となる傾向がある。即ち、最も南の端にある湯ノ湖畔自然湧出口の 42°C (利用されていない) から、中宮祠に送湯される源泉、共同浴場を経て、湯本源泉地の 68°C 迄に達する。その内、湯ノ湖畔のボーリング源泉は、周囲の自然湧出源泉よりも高温で 59°C を示している。湯本源泉地の北で 46.5°C を示すものがあるが、これは利用されていないし、冷地下水が混入しているのは明かである。

北部のプール F 附近一帯は地元の人達によつて湯本と呼ばれるので判る様に、湯元温泉の源泉と考えられている。この附近一帯は湿地で随所に H_2S ガスの発泡が見られる。泉温は 65°C 以上の高温を有し、特にプール F は 68°C で最高値を示している。

蒸気残渣は、1200 mg/l 前後から 1300 mg/l 迄のものが多く、ボーリング源泉は 1380 mg/l と多く、又、湯ノ湖畔自然湧出口と湿地帯北辺の自然湧出口との二源泉 (共に利用されていない) は何れも 800 mg/l 台であつて、地下水の混入を示していると思はれる。

概して温度の高い源泉は蒸気残渣が少く、比較的低温のものは残渣の多い傾向が認められる。残渣が特に少ない上記二源泉は温度も低くて、混入地下水が、低温で残渣の少ないものであることが判る。

ボーリング源泉は何れの源泉とも幾分異つたもののようである。

(ロ) Na^+ 及び K^+

Na^+ の含量 (mg/l) 及び millival% は南部のもの程大で、泉温と逆の傾向を示す。含量 (mg/l) でいえば、共同浴場より南は 130 mg/l 以上であり、湯本源泉地は 110 mg/l 台である (地下水の混入している 2 自然湧出口は除外する)。millival% で比較して見ると、共同浴場より南は 37 millival% より大で、最大値は中宮祠送湯源泉の 41.5% に達する。一方湯本源泉地では 33% 以下である。 K^+ についても同じ様な事が云える。即ち、共同浴場より南は 21 mg/l 以上であり湯本源泉地は 19.5 mg/l 以下。又、南では 3.3 millival% 以上であり、北では 3.2~3.1% の間である (自然湧出口は除外する)。

(ハ) Ca^{++}

第2表 湯元源泉分析成績表

源	泉	湧出水 沼地北 方	湧出水 金山峠 道	自然湧 出沼地 北岸	湯ノ本 プール B	湯ノ本 プール F	共同浴 場北側	共同浴 場南側	中宮祠 行源泉	湖畔ボ ーリン グ	自然湧 出湖畔
泉	温 °C	8.5	14.5	41~(46.5) 下部	58.5	68	59	58	55.5	59	42
pH	(at 18°C)	7.0	7.3	7.94	7.78	7.96 ~8.04	7.72 ~7.96	7.72	8.16	8.1	8.1 ~8.15
湯面 H ₂ S (p. p. m.)					30	200	10~15			150	100
VIS SCE (pt極)		210	160 ~170	260 ~270	330	310	285 435	285	310	310	300
VIS SCE (Fe 極)		410	485	460	460	510	~460	435	510	510	515 ~535
湧 出 量											
蒸 発 残 渣 (mg/l)		316 土砂混入	78	892	1190	1210	1300	1262		1380	806
メ タ 珪 酸 (mg/l) H ₂ SiO ₃		288	49.5	135	130	93.5	137	120	156	174	112
カ チ オ ン ア ニ オ ン	Na	mg		96.5	112	118	145	142	134	320	90
		mval		4.2	4.9	5.1	6.3	6.2	5.8	9.6	3.9
		mval%		32.5	33	32.5	37.3	38	41.5	55.5	39
	K	mg		15.6	18.4	19.5	23.4	21	21	25.4	15
		mval		0.40	0.47	0.5	0.6	0.54	0.53	0.65	0.37
		mval%		3.1	3.2	3.18	3.55	3.3	3.8	3.75	3.7
	Ca	mg		146	178	190	188	178	134	126	98
		mval		7.3	8.9	9.5	9.4	8.9	6.7	6.3	4.9
		mval%		56.5	60	60.5	55.5	54.5	48	36.5	49
	Mg	mg		10.7	7.8	7.8	7.8	7.8	11.3	10	10
		mval		0.89	0.65	0.65	0.65	0.65	0.94	0.84	0.83
		mval%		6.9	4.4	4.1	3.84	4	6.2	4.85	8.3
ア ニ オ ン	計	mg		268.8	316.2	335.3	364.2	348.8	300	481	213
		mval		12.9	14.9	15.75	16.95	16.3	13.97	17.3	10.0
		mval%		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Cl'	mg		46	62.3	74.5	85	88.5	71	106	43.6
		mval		1.3	1.9	2.1	2.4	2.5	2.0	3.0	1.23
		mval%		10	13	13.5	14.3	16	16.3	18.6	12.9
	SO ₄ ''	mg		395	475	543	480	495	390	433	320
		mval		8.2	9.9	11.3	10.0	10.3	8.1	9.0	6.70
		mval%		65	68	72.5	59.6	66	62	56	70
	HCO ₃ '	mg		36	36	39	52	48	47.5	67	19.6
		mval		0.59	0.59	0.64	0.85	0.77	0.78	1.1	0.32
		mval%		4.8	4.1	4.1	5.08	4.9	5.95	6.8	3.35
オ ン	HS'	mg		82.5	72.7	5.0	116	69	72.5	99	43
		mval		2.5	2.2	1.5	3.5	2.1	2.2	3.0	1.3
		mval%		20	15	9.65	20.8	12.4	16.8	18.6	13.6
	計	mg		559.5	646.0	706.5	733	638.4	581.0	705	426.2
		mval		12.6	14.6	15.54	16.75	15.7	13.08	16.1	9.55
		mval%		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Ca^{++} は Na^+ , K^+ ほど明かではないが、やはりある傾向が見られ、そしてそれは Na^+ 及び K^+ とは相反する傾向である。即ち、共同浴場より北部は 178 mg/l より大なる値を示し、南では 314 mg/l 以下である。millival% でいえば、共同浴場より北では 54.5% 以上であり、南では 49% である。(二自然湧出口を除外する)。プール F は 190 mg/l , 60.5 millival\% を示し、最高である。

(二) Cl^- 及び HCO_3^-

Cl^- は含有量が少いが、 Na^+ 及び K^+ と同じ傾向を有している。湯本源泉地では $62.3 \sim 74.5 \text{ mg/l}$ 、共同浴場では $85 \sim 88.5 \text{ mg/l}$ 、ボーリング源泉は 106 mg/l となつている(ここで、中宮祠送湯用源泉は 71 mg/l と小さい)。millival% では、湯本源泉地が 13% 合(北辺の自然湧出口は 10%) 共同浴場が $14 \sim 16\%$ 、それより南が 16% 以上(湯ノ湖畔自然湧出口は 12.9%)と、南部に大で、北部に小といった傾向が見られる。この傾向は HCO_3^- でも見られ、湯本源泉地以北が 30 mg/l 台であるのに、共同浴場より南は 47.5 mg/l 以上である(湯ノ湖畔自然湧出口は 19.6 mg/l)。millival% では湯本源泉地以北が、 4.8% 以下で共同浴場以南は 4.9% 以上でボーリング源泉は 6.8% に達する(湯ノ湖畔自然湧出口は 3.35% である)。

(三) SO_4^{--}

SO_4^{--} はアニオンの主成分であつて、millival% で、 65% (ボーリング源泉) から、 72.5% (プール F) 迄ある。 Ca^{++} とほぼ並行して増減する傾向を示す様であるが、各源泉による差異は、 Na^+ , Ca^{++} ほど明確には認められない。

(四) HS^-

HS^- は millival% で $10 \sim 20\%$ の間にあり、 SO_4^{--} に富んだ源泉では比較的少なく、 SO_4^{--} の少ない源泉では反対に大きい値を示している。例えば共同浴場北側源泉は、 SO_4^{--} 59.6% (ボーリング源泉を除いて最小)を示すが、 HS^- は 20.8% と最大値を示し、 SO_4^{--} の最大値はプール F の 72.5% であるが、その HS^- 含有量は 9.65% の最小値である。

5. 湧出地下水

湧出水の 1 は湿地帯北岸、他は金田峠道のもので、後者は湯元の飲料水として利用している。何れも pH は 7.0 附近、殆んど中性で、蒸発残渣も少く、特異成分も含有せず、これが温泉に混入したとしても、温泉の組成を著しく変化せしめる事はない。

6. 総括

湖畔のボーリング 1 本と地表の観察だけで地下の状態を推定することは困難であるが、上記の三源泉を比較して次のことが考えられる。

即ち、源泉は一次的には変質を受けた石英粗面岩中に温泉脈をなしている。その温度は 75°C 以上、恐らく Na^+ 稍多くアルカリ性が稍強い。地下の石英粗面岩の斜面とこれを蔽う冲積砂礫、粘土層との境界部(地表から 30 m 程度)で被圧地下水と混合し、二次的源泉を形成している。温度は一般に 70°C 内外で地表に上昇し自然湧出する迄に稍下り、且 Na^+ 減じ pH は下る。

湯本源泉地は湧出量、温度の点や、基盤岩石の変質作用から見て最も有力な源泉が期待される。

化学調査の結果を総括するに、湯元温泉群は硫酸塩(主として石膏 CaSO_4)を母体とした硫黄泉であつて、各源泉は従来の分類によれば同一の泉質を興えられるべきものであるが、これを些細な点にわたつて比較するときは Na^+ , Ca^{++} の割合の相違及び Cl^- 量の差から、これを二つの温泉の混合系と解釈する事が出来る。即ち、この附近一帯の地下を満す自然水に就いて考えるときは、北部の湯本源泉地一帯は Ca^{++} 及び SO_4^{--} が支配的な高温温泉(恐らくは 80°C 附近)の主力地帯であり、南部は含食塩芒硝石膏泉的な源泉(恐らくは $50 \sim 60^\circ\text{C}$ 附近)の勢力地帯という事が出来る。更に極めて模型的な解釈をすめれば、これら二つの中心地にはさまれる地帯に於て湧出する温泉は、その二つの中心よりの距離に逆比例した率でそれ等の 2 温泉を混合含有しているという事が出来る。而して、この地点より外に遠ざかるにつれて、急速に地下循環水の支配するところとなる。

然し、この解釈を以つて、直ちに、日光湯元に二つの別個の温泉脈があると考える事は早計であつて、比較的表面的現象としてかかる傾向があるのであつて、この地帯の温泉群はすべて本質的には一つの源泉であると考えるべきである事は言を俟たない。

終りに、本調査に当り、自由な研究を快よく許可された本学薬学科高本隆二主任教授始め、御激励御指導を戴いた諸先生諸先輩に深謝する。又東京大学理学部坂本峻雄教授、山崎正男助手はそれぞれ地質に関して貴重なる御意見を述べられた。

なお、本調査費用の一部は、日本温泉協会学術部委員会中央温泉研究所の研究費を以て充てた。併せて感謝する次第である。

山茶花の生薬学的研究

小林 芳 雄*

Eine pharmakognosische Studie von der einen Blütendroge "Shan-cha-hua"

Von Yoshio KOBAYASHI

RESÜME

In der Arbeit sind die pharmakognosische Studien von Blüten der *Camellia japonica* und *Camellia Sasanqua* beschrieben. Die Pollen sind besonders mit Sump-Präparat untersucht. Der Bau dieser Pollenkörner ist folgenderweise.

Camellia japonica: Die Gestalt ist ellipsoidförmig, etwa 60μ lang, 35μ dick, an der Oberfläche körnig und mit 3 dünnen Längsrissen versehen. Die Polaransicht ist rundlich 3-eckig und mit 3-radial liegenden Rissen versehen. Die Keimporen 3; jede findet sich an der Mitte des Risses. Die Stäbchenschicht ist deutlich.

Camellia Sasanqua: Die Gestalt der Pollen ist der vorigen Art sehr ähnlich und etwas klein.

1. 緒 言

山茶花は支那明代の学者李時珍の著書、本草綱目に初めて収載された漢薬で、その原植物は *Camellia* 属のものと目されていたけれども、この生薬は市場に見ること甚だ稀であるので、本草学者はこの母植物に就て考察を進める機会を得なかつた。然るところ昭和 12 年石戸谷¹⁾は華北の張家口の生薬店に於て山茶花と称する乾材を入手し、その植物分類学的研究を試みた結果、本品は Theaceae の *Camellia japonica* L. の花部を採集し、乾したものであることを立証した。

本文に於てこの生薬の生薬学的、特に解剖学的研究を行つたのでここに報告することとした。併せて本邦に於て古来「山茶花」の漢字名を以てあてられて来た *Camellia Sasanqua* Thunb. の花部の比較観察を試みた。本研究に供した試料は東京近郊に栽培されたものを用いた。

本研究に当り、あらゆる面に於て終始懇切な御指導を賜つた本学石戸谷講師、また種々の御援助を頂いた高本、木村両教授に厚く感謝の意を表する。

2. *Camellia Japonica* の花部の研究

(1) 肉眼的観察と形態

最外部は多数の芽鱗及び萼に覆はれ、それ等は円形

或は広楕円形で緑色又は緑褐色を呈し、長さ $0.3\sim 2.0$ cm, 幅 $0.5\sim 1.5$ cm を示し、外側には上方に向つて横臥した多数の毛を有し、中央部は多少硬化している。最も内側のものは萼と花瓣の移行型を示すものが往々あり、これ等は中央部は萼様で緑褐色を示して多少堅く、両翼は花瓣様で紅色を呈し軟かい。花瓣は長さ $3.5\sim 4$ cm, 幅 $2.5\sim 3.5$ cm 程で紅色を呈し、その基部は互に癒着している。雄蕊は長さ $1.5\sim 3$ cm で、一見して明瞭な単体雄蕊をなし、内方のもの程短く、最外部のものが最も長くその約半分程基部が癒着している。雌蕊(第 1 図, G. $\times 2$)は柱頭 3 浅裂し、花柱極めて細長く径約 0.1 cm 長さ約 2.5 cm, 子房は上位性で、基部の直径、高さ共に約 0.4 cm で表面は無毛である。

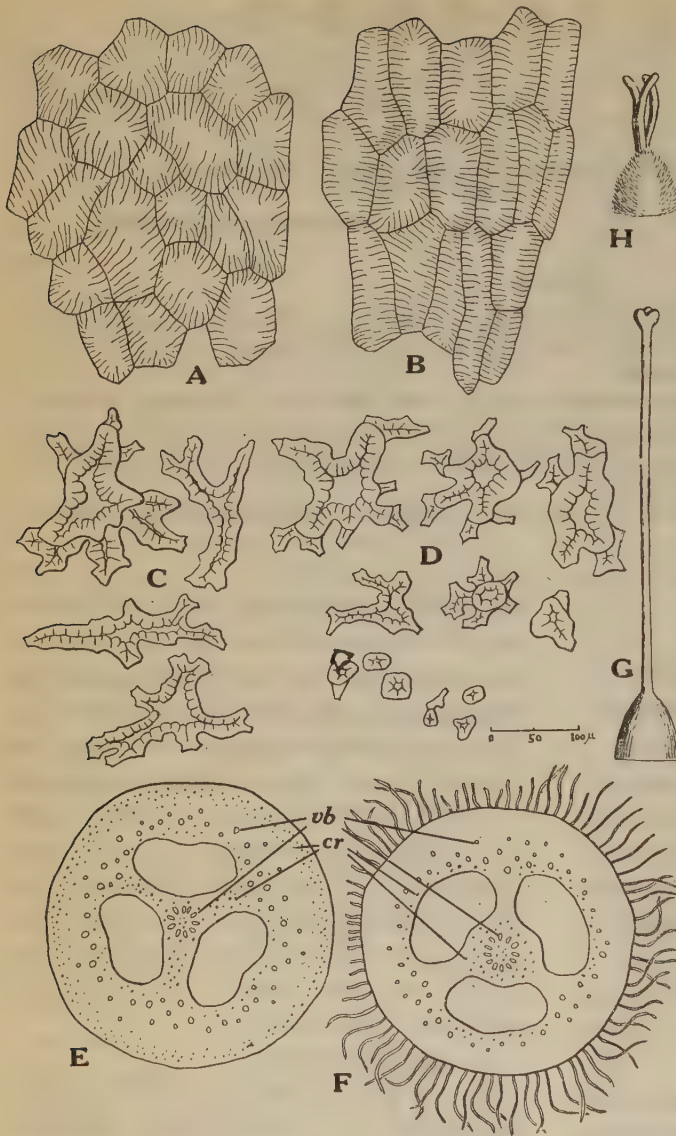
(2) 顕微鏡的観察と構造

芽鱗および萼の中央部横断面を檢鏡すると、上下夫々一層の表皮細胞あり、その間の葉肉組織は、柵状組織を全く欠き、円形の柔細胞を以て充たされ、その間至る処に、極めて厚膜にして巨大、多数分岐した異型細胞(第 1 図, C)が多数存在する。これ等のうち、大なるものは長径 250μ 以上に達し、膜の厚さ 15μ 内外、膜孔極めて明瞭である。また外面の毛は何れも単細胞性で、長さ $350\sim 600\mu$ のもの多く、直径 15μ 内外、先端部は膜の肥厚著しく殆んど半径に等しく、内腔は無に近い状態である。花瓣表皮の表面視像をスンプの常法により作

* 日本大学工学部薬学科助手

1) 李 時珍: 本草綱目, 木部第 36 卷木之三

2) T. Ishidoya: Chinensische Drogen III. 43 (1937)



第 1 図

成し検鏡するに、ほぼ多角形の表皮細胞よりなる。(第1図, A), これ等は径 $35\sim 55\mu$ を示し、その表面のクチクラの模様は、求心的又は花瓣の縦の方向に走つて居り、横に走るものは極めて稀である(第1図A)。また花瓣の中には蓚酸石灰の集晶および単晶が散在し、極めて稀には異型細胞も見られる。前述の萼と花瓣の移行型のものの横断面に於て、中央部萼の形質の部に異型細胞多く、両翼の花瓣の形質を有する部に於ては異型細胞を発見することが出来ない。すなわち外観と内部構造とが関連していることは興味のあることである。花粉粒

は側面像(第2図, 註)において、両端楕円形、長径約 60μ 、短径約 35μ 、両端の長さ約 15μ を示し、褶裂は3本、細長く縦に走り殆んど両極に達する。表面は顆粒状の模様を呈し、外膜の柵状層は明瞭である。極面像(第2図, b)に於ては、鈍三角形を示し各頂点に相当する部位に夫々発芽孔あり、径約 45μ で、柵状層および表面の模様は側面像と変りがない。

子房の横断面(第1図, E)は円形、3房あり、維管束(第1図, E. vb. すなわち小円を以て示す)は中軸に於ては環状に、子房壁にはその中央部に散在する。また蓚酸石灰の集晶および単晶(第1図, E. cr. すなわち黒点を以て両者を示す)が、中軸の維管束の内外、隔壁、子房壁維管束群の内側および表皮の近くに散在し、殊に表皮の近くには集晶が比較的多数見られる。

3. *Camellia Sasanqua* の花部の研究

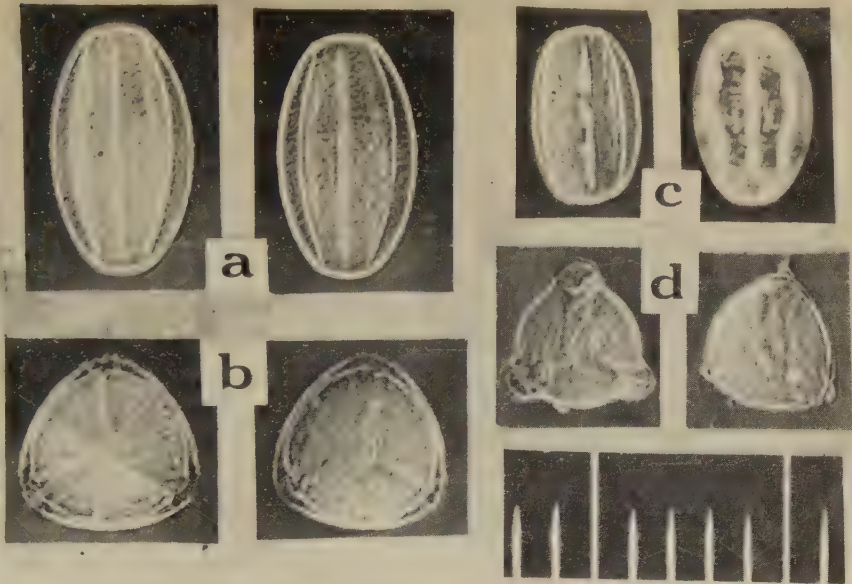
(1) 肉眼的観察と形態

最外部の芽鱗および萼は円形乃至偏円形で緑褐色を呈し、背面彎曲している。大なるものは長さ約 0.6 cm 、幅約 0.8 cm 、質は堅硬で、背面に単細胞性の毛を有し、多くのものは花期の終り頃迄に脱落する。花瓣はほぼ倒卵形で長さ 3 cm 内外、幅 2 cm 内外で基部癒着せず、雄蕊は、長さ $0.7\sim 1.5\text{ cm}$ 程で、長いものは外方に、短いものは内側にあり、これ等は基部のみ癒着し、一見した丈では単

体には見えないが、単体雄蕊をなしている。雌蕊(第1図, H. $\times 2$)は長さ $0.9\sim 1.1\text{ cm}$ で、花柱に相当する部分がなく、柱頭は3深裂して、各々の長さ約 0.6 cm で、基部は子房の上端に直接附着している。子房は上位性で基部の径約 0.4 cm 、高さ約 0.3 cm を示し、外面は銀白毛を以て覆はれている。

(2) 顕微鏡的観察と構造

芽鱗および萼の横断面を鏡検すると、前者と大体同様であるが、異型細胞の数が多く、またその分岐の度合いも多い。異型細胞の断面(第1図Dの上方のもの)と同



第 2 図

時にその非常に小さいものが現れることが多い(第1図, Dの下方のもの)。これ等は異型細胞の分岐した枝の先端附近の断面である。外形的にこの方が前者の芽鱗および萼より遙かに堅いのは、この異型細胞の存在の多数によるものと考えて差支えないであらう。花瓣の表皮の表面視像をスンプの常法により検すると、表皮細胞(第1図, B)は縦の方向に細長いものが多く、長さ $80\sim 140\mu$ 、幅 $30\sim 40\mu$ 程で、その表面のクチクラの模様(第1図, B)は大部分が横に走り、往々求心的模様が見られる程度で縦に走るものは極めて稀である。また花瓣の中には蓚酸石灰の集晶が多少存在する。花粉粒を前者と同様に処理して検するに、前者とはほぼ相似形をなし大きさが多少異なる。すなわちその側面像(第2図c)に於ては長径約 48μ 、短径約 30μ 、両端截部の長さ約 13μ であり、極面像(第2図, d)に於ては直径約 35μ を示し、その他は前者と殆んど同様である。子房の横断面(第1図F)を検すると、ほぼ円形で3房に分れ、子房

壁の周囲には多数の毛が放射状に或は屈曲して密に並んでいる。維管束(第1図F, vb)は中軸に環状に、子房壁に散在する。中軸維管束の内外および子房壁維管束群の内方には、蓚酸石灰の集晶が認められるが前者に比して数がやや少い。表皮の近くは結晶は認められない。子房壁の毛は長さ 1000μ 内外、直径約 25μ でその膜は極めて厚化して二層をなしている。中央部より先は膜の厚さが半径に近く、内腔を殆んど欠く様な状態であり、また根部はほぼ3細胞層の深さ迄達し、膜の厚さ約 7μ を示し膜孔は明瞭で、強い木化反応を示す。

註：第2図の顕微鏡写真はスンプ薄板を応用したもので、⁸⁾右下の目盛は検体と同一条件の下に撮影した対物マイクロメーターの顕微鏡写真で1目盛が 10μ に相当する。この目盛により、第2図の写真は総て約500倍に拡大されていることになる。

鎮痛效力検定装置の基礎的研究

(1954 年 12 月 日受理)

小沢 光・新村 宗敏*

Fundamental Studies on Analgesimetric Apparatus based on Electric Stimulation

By Hikaru OZAWA. Munetoshi NIMURA

Examinations were made on various factors which might interfere during the use of an analgesimetric apparatus using an electric stimulation devised by the authors, and following conclusions were reached.

- 1) Since there are only less than 3.7% of untreated mice which squeak after application of over 40 times of electrical stimulation, it may be assumed that the drugs which fail to produce a squeak from mice with over 40 electric stimulations are positive in analgesic effect.
- 2) The base of the tail is more sensitive to stimulation than the tip.
- 3) No habituation was observed in repeated experiments carried out in two-hour intervals.
- 4) Analgesic affect of operidine hydrochloride was tested by the present apparatus, stimulation being applied to the base of the tail in mice and with 40 stimulation taken as the pain threshold, and the following data were obtained:

 $ED_{50}=12.8\text{mg/kg}$

Confidence limit, 95% 10.9–15.1mg/kg

1. 緒 言

従来鎮痛薬の効力検定法としては (1) 機械的刺戟によるもの、(2) 熱刺戟によるものおよび、(3) 電気刺戟によるもの、の 3 種類あるが、熱刺戟による Walf-Hardy 法が優秀な方法として繁用され、電気刺戟法は殆んど顧られていない。これは今迄使用された電気刺戟法は交流正弦波を小動物に通電するものであるから、一定の瞬間的断続を行わせることは技術的に極めて困難で、しかも交流正弦波のどの部分を通電するかにより電圧に不同を来し、鎮痛薬効力を精密に検定するのに不適當であるからである。

先に著者の一人小沢りは鋸歯波状のインパルスを発振する電氣的刺戟装置を考案し、予想以上に敏感な鎮痛薬の効力検定を行うことを得たので報告した。その際は一定の条件下に行つた実験に終始し、同装置使用によつて介入すると思われる種々の要素について検討する機会を得なかつた。

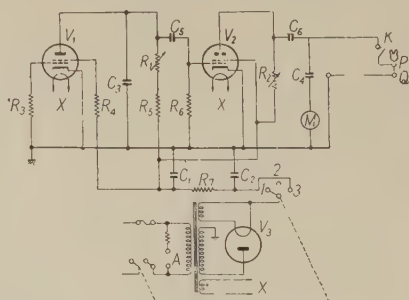
本報は同検定装置に一層の客観性を与える目的で介入要素の若干について推計学的考察を試みたものである。

2. 検定装置及び操作

著者の考案した電気刺戟装置は第1図の如き鋸齒状発振器である。

V_1 はサイロトロン管 (767 A 使用), V_2 は増幅管

(6Z—PI 使用), V_2 は整流管 (12F 使用)で, V_1 にて発振された鋸歯状波インパルスを V_2 で増幅し, 出力回路に設けられた検定電極 $P-Q$ にハツカネツミの尾部を挟み, 電鍵 K を閉じることによつて電氣的刺激を与えるものである。 R_1 は可変抵抗で発振断続回数の調節を行う抵抗であり, 可変抵抗 R_2 は出力電圧を調節する抵抗である。最初入力電圧を正確に交流 100 V に調節し, その後 B 電流を入れる。発振回数はメーターの針



- | | | | |
|---|----------|-------|-----------------|
| 1 | off | A | Source voltage |
| 2 | Filament | M | Timer |
| 3 | Plate | K | Key |
| | | R_1 | Time adjuster |
| | | R_2 | Out put control |

第 1 图

のフレにより読むことができる。この回数は R_1 の抵抗で調節可能で、使用する条件により適宜に調節するが、その範囲は大体 2 秒 1 回乃至 160 回程度にすることがで

* 日本大学工学部薬学科

きる。

出力電圧は R_2 の抵抗によつて 7V より 45V まで調節できる。しかし余りに電圧が低い場合には小動物は「馴れ」により疼痛閾値が若干上昇し不正確となり、又高過ぎると尾に障害を起すから、経験的には 20V 乃至 30V が良好である。この出力電圧は通常の計器では測定できないので陰極線オシログラフにより既知電圧を対照として測定する。

図に示す C_1, C_2, C_3, C_4 , 等はコンデンサー, R_3, R_4, R_5 は抵抗, M はメーターを示す。

電気刺激装置の出力電圧は R_2 の調整により 20~30V 特に 26V にし、発振回数は R_1 により鋸歯状波の幅 1/25 秒, 1 秒 1 回の断続電流を流すように調整する。検定電極 P—Q の間隔を 3~4 mm にする。検定電極としては 2 個のクリップを使用しハツカネズミの尾に電氣的刺激を与える。

最初対照（無投薬）に於て電鍵 K を押し、電氣的刺激に耐えられなくなつて泣鳴（squeak）する電気刺激（発振）回数をメーターのフレで読む。

出力電圧により Squeak する迄の回数（または秒）すなわち疼痛感値が異なることは当然であるが、対照動物（無処置）が 1~5 回で泣鳴する電圧が時間的に「馴れ」がなくて好適のようである。

薬物投与後同様の刺激を与えて後 squeak する迄の時間（発振回数）即ち疼痛感値を測定し、これと正常疼痛感値を比較することにより鎮痛効力を検定することが

できる。

3. 実験方法

本装置を使用する際介入し得る要素として次の 6 つが考えられる。

(1) 動物

著者らの実験ではハツカネズミを使用したか、実験成績に変動を与える要素としては次のものがある。

性別、年齢、体重、個体差、等

(2) 操作

刺激鋸歯状波の間隔、電圧、電極クリップで挟むハツカネズミ尾部の位置、電極クリップの距離、繰返しの影響等。

以上のうち、他の要素を固定して次の 3 要素に就いて検討した。

a) 電極で挟むハツカネズミ尾部の位置：尾根と尾端

b) 繰返しの形響

c) 個体差

固定した要素としては体重 7~18 gr の健康な雄ハツカネズミを用い、電圧 26V、刺激間隔 1 回、電極間の距離 3~4 mm とした。

疼痛表現の標準である squeak については、その有無について論じ強弱については考察しなかつた。

4. 実験成績

(1) 刺激部位および繰返しの検定

第 1 表 Squeak する迄の刺激回数に及ぼす刺激部位及び繰返しの影響

尾の根元						尾の先端					
体重	1 回	2 回	3 回	4 回	5 回	体重	1 回	2 回	3 回	4 回	5 回
7	4	6	5	2	6	7	6	7	9	10	32
7	18	3	3	8	4	7	11	5	4	35	20
7	2	1	1	7	1	7	15	9	3	40<	38
7	7	4	3	9	10	7	20	10	5	18	40<
8	17	10	4	9	8	8	40<	40<	40<	40<	36
8	7	8	3	7	7	8	20	20	31	40<	40<
8	5	6	6	2	2	8	5	32	40<	40<	40<
9	2	2	3	6	5	9	5	3	6	5	17
9	1	6	8	6	7	9	40<	40<	40<	40<	40<
10	20	7	5	7	6	10	34	31	40<	40<	40<
10	1	1	2	5	4	10	4	3	6	9	2
11	7	2	5	5	8	11	18	20	22	40<	36
11	9	7	14	9	10	11	26	29	40<	18	40<
11	1	1	1	2	4	11	32	40<	40<	40<	40<
12	3	3	1	2	6	12	15	25	23	10	32
14	1	1	3	3	2	14	2	1	5	2	6
17	9	9	7	9	8	17	40<	40<	40<	40<	40<
17	27	2	1	4	2	17	40<	33	40<	38	40<
18	6	10	3	8	4	18	9	25	18	35	20

上記方法によつて行つた 19 匹のハツカネズミにおける尾根及び尾端に電極クリップを挟み、2 時間以上で繰返した際の squeak する迄の電気刺激回数(秒)におよぼす刺激部位および繰返しの影響は第 1 表の通りである

第 1 表から次の車柄が推定定来る。

(a) 尾根と先端との比較

根元をクリップした場合はすべて刺激数 40 以内で squeak しているが先端をクリップした場合は刺激数 40 以内で squeak しなかつたハツカネズミが延数 34 匹もある。全般的に比較しても先端の方が Squeak 迄に多くの刺激数を要している。即ち尾根と先端とは刺激に対する感受性が相違しており、尾根の方が敏感である。この事から考へて鎮痛効力を検定する時は、尾のクリップの場所を固定しなければならないし、その感度から云つて根元が適当であると云える。

(b) 繰返しの影響、個体差、実験精度の分析

尾根での実験データを分散分析して見るのにデータはこのまま用いることは不適当と思はれる。何故ならば第 1 表から判る通り、この変量はかなり正規型からゆがんでいる。小さい数の方が頻度が高く数が大きくなるにつれて頻度は小さくなる指数型の様である。従つて正規型

第 2 表 対 数 変 換 値

体重	1 回	2 回	3 回	4 回	5 回	計
7	0.602	0.779	0.700	0.301	0.779	3.161
7	0.255	0.477	0.477	0.903	0.602	3.713
7	0.301	0	0	0.845	0	1.146
7	0.845	0.602	0.477	0.954	1	3.878
8	1.230	1	0.602	0.954	0.903	4.689
8	0.845	0.903	4.477	0.845	0.845	3.915
8	0.700	0.779	0.779	0.301	0.301	2.86
9	0.301	0.301	0.477	0.779	0.700	2.558
9	0	0.779	0.903	0.779	0.845	3.306
10	1.301	0.845	0.700	0.845	0.779	4.47
10	0	0	0.301	0.700	0.602	1.603
11	0.845	0.301	0.700	0.700	0.903	3.449
11	0.954	0.845	0.146	0.954	1	4.899
11	0	0	0	0.301	0.602	0.903
12	0.477	0.477	0	0.301	0.779	2.034
14	0	0	0.477	0.477	0.301	1.255
17	0.954	0.954	0.845	0.954	0.903	4.61
17	1.431	0.301	0	0.602	0.301	2.635
18	0.779	1	0.477	0.903	0.602	3.761
計	12.82	10.34	9.538	13.398	12.747	58.846

に近づける為に対数変換を行い、これを用いて分散分析を行う。

第 2 表は対数変換値である。

総 変 動

$$0.602^2 + 1.255^2 + \dots + 0.602^2 - \frac{58.846^2}{95} = 11.4738$$

実験間変動

$$\frac{12.82^2}{19} + \frac{10.343^2}{19} + \dots + \frac{12.747^2}{19} - \frac{58.846^2}{95} = 0.6206$$

個体間変動

$$\frac{3.161^2}{5} + \frac{3.714^2}{5} + \dots + \frac{3.761^2}{5} - \frac{58.846^2}{95} = 5.5325$$

かくして第 3 表の分散分析表を得る。

第 3 表 分 散 分 析 表

要 因	変 動	自 由 度	不偏分散	E
実験間	0.6206	4	0.1551	2.104
個 体 間	5.5325	18	0.307	0.084++
誤 差	5.3209	72	0.0737	
計	11.4738	94		

第 4 表 頻 度 表

刺激数	動物数				
1	27	43 } 67	21	0	0
2	16		22	0	
3	16		23	0	
4	8		24	0	
5	13	22 } 38	25	0	1
6	9		26	0	
7	11		27	0	
8	5		28	0	
9	5	11 } 11	29	1	0
10	6		30	0	
11	0		31	0	
12	0		32	0	
13	0	1 } 3	33	0	0
14	1		34	0	
15	1		35	0	
16	1		36	0	
17	1	2 } 3	37	1	1
18	1		38	0	
19	0		39	0	
20	1		40	0	

この分析から次の事が云える。

(i) 電気刺激に対する感受性はハツカネズミによって相違している。すなわち敏感なものと鈍感なものとがあると言える。

(ii) 2時間以上の間隔を置かなければ繰返し実験間に有意な差を認めることは出来ない。

(2) 頻度グラフによる検討

以上の実験により鎮痛試験を行う際の若干の条件を分析することが出来た。次に実際に薬物を投与した後の効力判定法を吟味したい。いくつかの刺激回数に耐えるならば鎮痛効力を認めることが出来るだらうか。そのために頻度グラフを求める。繰返し実験間に有意差を認め得ない故第1表のデータはすべてそのまま用いる事が出来る。これに29例を追加し、計延数124例について次の如き結果を得た。電極クリップの場所は尾根である。数のバラツキから見て階級を1~2, 3~4, 5~6, ……或いは1~4, 5~8, 9~12 ……としてヒストグラムを画く方が函数形をよりよく推測出来る様に思つたので、次の2種のヒストグラムを作つた。このヒストグラムより見て美しい頻度函数の存在を予測せしめるのであるが、指数函数等のあてはめを試みた結果、うまく適合せず、頻度函数の推定は今後の課題とし、今回は二項分布の信頼区間を求めた。新偏統計数値表 p. 137 によれば、或る確率事象があつてその出現率 R は未知であるが、 N 回の独立試行のうちで k 回出現したとする。これから判断して

1. P が或る値 P_L より小でないという確率

$$P_L = \frac{n_2}{n_1 F_{n_2}^{n_1}(\alpha/2) + n_2} \quad n_1 = 2(N - k + 1) \\ n_2 = 2k$$

2. P が或る値 P_u より大でないという確率

$$P_u = \frac{n_1' F_{n_2'}^{n_1'}(\alpha/2)}{n_1' F_{n_2'}^{n_1'}(\alpha/2) + n_2'} \quad n_1' = 2(k + 1) \\ n_2' = 2(N - k)$$

さて今回の実験に於て、電気刺激回数40以内で Squeak しなかつた例数は124例中0例である。上記関係式から母集団での確率を算出すると

$$P_u = \frac{n_1' F_{n_2'}^{n_1'}(\alpha/2)}{n_1' F_{n_2'}^{n_1'}(\alpha/2) + n_2'} \quad n_1' = 2 \\ n_2' = 248$$

$\alpha = 0.02$ とすると

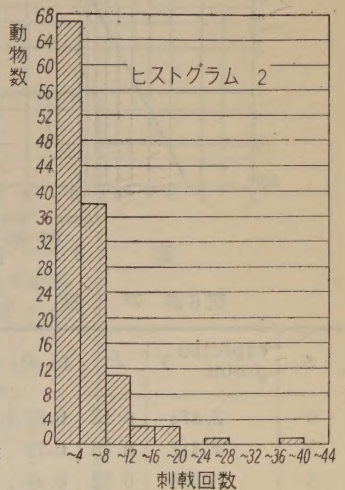
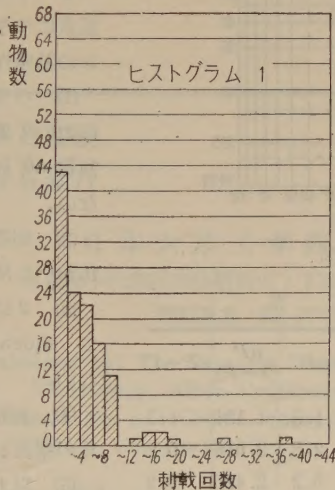
$$P_u = \frac{2 \times 4.7865}{2 \times 4.7865 + 248} = 0.037$$

すなわち 98% の信頼度をもつて「電気刺激回数 40 以

内で squeak しなないハツカネズミは 100 例中 3.7 例以上ではない」と判断することが出来る。従つて薬物の鎮痛効力を判定する場合、40 以内で Squeak すれば無効、40 以内で Squeak しなければ有効と判定の規準を定めることが出来る。

(3) 薬物の検定法 (その例)

以上の Control 実験に基き、薬物として塩酸オペリジンについて鎮痛効力の検定を行つた。すなわち 7~13 gr の雄ハツカネズミを選び尾根から約 1 cm の所でクリップを挟み、クリップ間は 3~4 mm、電気刺激は 1 秒 1



第 2 図

回、26 V と定め、薬物用量は公比 1.3 として 6 階級設定、1 階級 10 匹づつを使用した。いずれも一定量を皮下注射後 20 分で上記電気刺激法を行つた。実験結果は第5表の通りである。

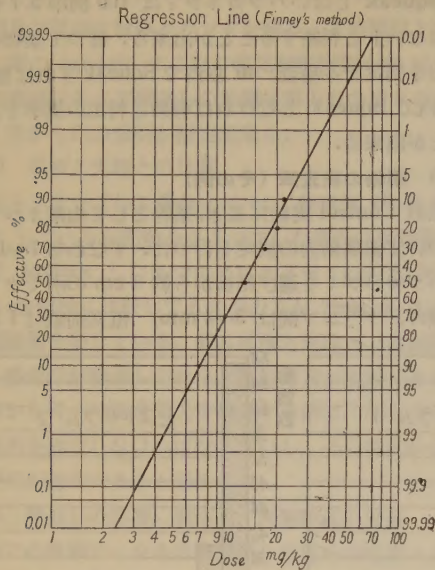
第5表 塩酸オペリジンの効力

薬物量 mg/10 g	0.077	0.1	0.13	0.169	0.2	0.22
有効動物数	0/10	3/10	5/10	7/10	8/10	9/10
動物数						

プロビットによる計算

第3図の回帰線より $\log E D_{50}$ を求めると次の如くである。

$$\log E D_{50} = 1.107 \\ b = \frac{6.175 - 3.874}{1.3424 - 0.8865} = 5.05$$



第 3 図

第6表 χ^2 検定表

r	expected probit Y	P	$1-P$	nP	$\frac{nP}{(1-P)}$	$nP-r$
0	3.874	0.13	0.87	1.3	1.131	1.3
3	4.417	0.28	0.72	2.8	2.016	-0.2
5	5.050	0.52	0.48	5.2	2.496	0.2
7	5.583	0.72	0.28	7.2	2.016	0.2
8	5.954	0.83	0.17	8.3	1.411	0.3
9	6.175	0.88	0.12	8.8	1.056	-0.2

χ^2 検定：第6表より次の如く計算出来る。

$(np-r)^2$	$(np-r)^2/np'(1-p)$	w	nw
1.69	1.494	0.3957	3.957
0.04	0.018	0.5580	5.580
0.04	0.016	0.6366	6.366
0.04	0.018	0.5579	5.579
0.09	0.064	0.4550	4.550
0.04	0.038	0.4387	4.387
$\chi^2=1.648$		$S_{mew}=29.819$	

χ^2 表を見ると $\chi^2_0=1.92(p=0.75 \ n=4)$ であるから極めてよく一致している。回帰線は $Y=5+5.05(X-1.107)$

$E D_{50}$ の 95% 信頼限界は

$$1.96 \times \frac{1}{b} \sqrt{\frac{1}{S_{mew}}} = 1.96 \times \frac{1}{5.05} \times \sqrt{\frac{1}{29.819}} = 0.07095$$

上限は 1.178 antilog 1.178=15.066

下限は 1.036 antilog 1.036=10.865

$E D_{50}=12.8 \text{ mg/kg}$

95% 信頼限界=10.9~15.1 mg/kg

6. 結 論

著者らの考察した電気刺激による鎮痛効果検定装置につきハツカネズミを用い、検定の際に介入し得る種々の要素につき考察し、更にこれを基礎として塩酸オペリジンの鎮痛作用を検定し次の結論を得た。

(1) ハツカネズミは電気刺激に対する squeak 実験において個体差が認められるが、squeak する迄の刺激回数 40 以上のものは信頼度 98% で 3.7% 以上ではない。

(2) 刺激の部位はハツカネズミの尾根と尾端との比較において尾根の方がより敏感であることが認められる。

(3) 2 時間以上の間隔による 5 回の繰返し刺激において squeak するまでの刺激回数に有意の差は認められない。

(4) 本実験操作上の誤差に関しては、分散分析の結果その精度が極めて高いことが認められる。

(5) 以上の考察よりハツカネズミの尾根を刺激部位とし、刺激回数 40 を鎮痛閾値と設定し、塩酸オペリジン皮下注射後 20 分における鎮痛効力を検定したところ次の如くであつた。

$E D_{50}=12.8 \text{ mg/kg}$

信頼限界 (95%) 10.9~15.1 mg/kg.

本研究に当り御教示、御協力を得た田辺製薬株式会社、山本成一郎氏 (薬学・薬物学専攻)、中上節夫氏 (理学・推計学専攻)、田坂誠男氏 (理学・推計学専攻) に深甚の謝意を表する。

文 献

1) 小沢光・松本滋・佐藤七平
薬学雑誌 73, 212 (1953)

昭和 30 年 3 月 25 日印刷

昭和 30 年 3 月 30 日発行

発行者

日本大学工学研究所

東京都千代田区神田駿河台 1 丁目 8 番地

電話東京 (29) 7711—7719

Published by: The Research Institute of
Technology, Nihon University.

Address: No. 8, 1-Chome, Surugadai,
Kanda, Chiyoda-ku, Tokyo.

印刷所

株式会社 国際文献印刷社

東京都千代田区富士見町 1 丁目 10 番地

印刷者

笠井康頼

東京都千代田区富士見町 1 丁目 10 番地

(非 売 品)

